

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria Informàtica

# Integració d'OptaPlanner en CloudSim per gestionar l'ús de recursos Cloud

## MEMÒRIA

15 d'abril de 2019

**Autor:** Fernando Fernández Moreno

**Director:** Jordi Guitart Fernández

**Convocatòria:** 25 d'abril de 2019

**Especialitat:** Tecnologies de la Informació

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat d'Informàtica de Barcelona





## **Resum**

En els darrers anys, s'ha incrementat el nombre d'empreses que es volen sumar al procés de digitalització del seu negoci. L'objectiu a assolir amb aquest pas és tenir accessibles les seves dades i oferir els seus serveis a demanda en qualsevol moment i en qualsevol lloc del món, sempre i quan es disposi de connexió a Internet.

Aquesta proliferació dels centres de dades, que és on s'allotgen els serveis a demanda, requereix de noves tecnologies capaces de solucionar problemes com el rendiment, per poder atendre a totes les peticions que arriben amb qualitat, o la pròpia contaminació. Els centres de cloud computing, cada vegada més abundants i grans, consumeixen una gran quantitat d'energia, contribuint negativament al medi ambient.

El projecte proposa integrar dues tecnologies existents, com són CloudSim i OptaPlanner, i estendre-les per oferir a l'usuari la possibilitat de virtualitzar entorns de cloud computing i executar simulacions, tenint en compte aspectes com el rendiment o el consum d'energia, a través de la utilització d'heurístiques.

## **Resumen**

En los últimos años, se ha incrementado el número de empresas que desean sumarse al proceso de digitalización de su negocio. El objetivo a cumplir con este paso es tener accesibles sus datos y ofrecer sus servicios a demanda en cualquier momento y en cualquier lugar, siempre y cuando se disponga de conexión a Internet.

Esta proliferación de los centros de datos, lugar donde se alojan los servicios a demanda, requiere de nuevas tecnologías capaces de solucionar problemas como el rendimiento, para poder atender a todas las peticiones que llegan con calidad, o la propia contaminación. Los centros de cloud computing, cada vez más abundantes y mas grandes, tienen un gran consumo energético, contribuyendo negativamente al medio ambiente.

El proyecto propone integrar dos tecnologías existentes, como son CloudSim y OptaPlanner, y extenderlas para ofrecer al usuario la posibilidad de virtualizar entornos de cloud computing y ejecutar simulaciones, teniendo en cuenta aspectos como el rendimiento o el consumo de energía, a través del uso de heurísticas.

## **Abstract**

In recent years, there has been an increase of companies that want to join the digitizing of their business. The objective to achieve this step is to have your data accessible and offer your services on demand at any time and anywhere, as long as you have an Internet connection.

This proliferation of data centers, the place where services are hosted on demand, requires new technologies capable of solving problems such as performance, in order to adequately attend all the requests that arrive, or pollution itself. The cloud computing centers, every year more abundant and larger, have a high energy consumption, contributing negatively to the environment.

The project proposes to integrate two existing technologies, such as CloudSim and OptaPlanner, and extend them to offer the user the possibility to virtualize cloud computing environments and run simulations, taking into account aspects such as performance or energy consumption, through the use of heuristics.

# Índex

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducció</b>                           | <b>7</b>  |
| 1.1. Context                                    | 7         |
| 1.2. Parts interessades                         | 8         |
| 1.3. Problema                                   | 8         |
| 1.4. Marc legal                                 | 9         |
| <b>2. Estat de l'art</b>                        | <b>10</b> |
| 2.1. CloudAnalyst                               | 10        |
| 2.2. GreenCloud                                 | 11        |
| 2.3. Resultats                                  | 12        |
| <b>3. Abast del projecte</b>                    | <b>13</b> |
| 3.1. Objectius                                  | 13        |
| 3.2. Obstacles i limitacions                    | 13        |
| <b>4. Metodologia i rigor</b>                   | <b>15</b> |
| 4.1. Mètode de treball                          | 15        |
| 4.2. Eines de seguiment                         | 15        |
| 4.3. Mètode de validació                        | 15        |
| <b>5. Descripció i calendari de les tasques</b> | <b>17</b> |
| 5.1. Planificació temporal inicial              | 17        |
| 5.2. Descripció de les tasques                  | 18        |
| 5.3. Dependències                               | 18        |
| 5.4. Recursos                                   | 19        |
| 5.5. Desviacions i impacte                      | 19        |
| 5.6. Pla d'acció                                | 20        |
| 5.7. Revisió de la planificació                 | 20        |
| <b>6. Identificació i estimació de costos</b>   | <b>23</b> |
| 6.1. Costos directes                            | 23        |
| 6.2. Costos de hardware                         | 24        |
| 6.3. Costos de software                         | 24        |
| 6.4. Costos indirectes                          | 25        |
| 6.5. Contingències                              | 25        |
| 6.6. Imprevistos                                | 26        |
| 6.7. Control de gestió                          | 26        |
| 6.8. Revisió de costos                          | 26        |
| 6.9. Resum de costos                            | 29        |
| <b>7. Arquitectura de les tecnologies</b>       | <b>30</b> |
| 7.1. CloudSim                                   | 30        |
| 7.2. OptaPlanner                                | 32        |
| <b>8. Desenvolupament i implementació</b>       | <b>35</b> |
| 8.1. Funcionalitats                             | 35        |
| 8.2. CloudSim                                   | 35        |

|  |           |
|--|-----------|
| 8.3. OptaPlanner . . . . .   | 41        |
| 8.4. Integració d'OptaPlanner en CloudSim . . . . .  | 41        |
| <b>9. Experiments</b>  | <b>49</b> |
| 9.1. Assumpcions . . . . .   | 49        |
| 9.2. Reproducció dels experiments i interpretació dels resultats . . . . .                   | 50        |
| 9.3. Validació de la implementació . . . . .   | 51        |
| 9.4. Experiment 1: Heurística per defecte . . . . .  | 53        |
| 9.5. Experiment 2: First Fit . . . . .   | 55        |
| 9.6. Experiment 3: Comparació d'heurístiques . . . . .                                       | 57        |
| 9.7. Experiment 4: Power-aware . . . . .   | 58        |
| 9.8. Experiment 5: Mesura de l'impacte de diferents configuracions de la puntuació . . . . . | 60        |
| <b>10. Sostenibilitat i compromís social</b>   | <b>63</b> |
| 10.1. Autoavaluació sobre la competència de sostenibilitat . . . . .                         | 63        |
| 10.2. Estudi de la dimensió econòmica . . . . .  | 63        |
| 10.3. Estudi de la dimensió ambiental . . . . .  | 63        |
| 10.4. Estudi de la dimensió social . . . . .   | 64        |
| <b>11. Conclusions</b>   | <b>65</b> |
| <b>12. Treball futur</b>   | <b>66</b> |
| <b>Bibliografia</b>  | <b>67</b> |
| <b>Annex</b>   | <b>69</b> |
| <b>A. Diagrames de Gantt</b>   | <b>69</b> |

## Índex de figures

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Diferents usuaris es connecten a dos centres de dades a CloudAnalyst . . . . . | 10 |
| 2.  | Pantalla de resultats de CloudAnalyst . . . . .                                | 11 |
| 3.  | Estimació del consum energètic d'un centre de dades amb GreenCloud . . . . .   | 12 |
| 4.  | Diagrama de classes de CloudSim . . . . .                                      | 30 |
| 5.  | Elements fonamentals de la simulació . . . . .                                 | 31 |
| 6.  | Esquema del funcionament d'OptaPlanner . . . . .                               | 32 |
| 7.  | Esquema del funcionament d'OptaPlanner . . . . .                               | 33 |
| 8.  | Domini 1: Mapeig de màquines virtuals a hosts . . . . .                        | 42 |
| 9.  | Domini 2: Mapeig de cloudlets a màquines virtuals . . . . .                    | 42 |
| 10. | Esquema del funcionament de la integració . . . . .                            | 48 |

## Índex de taules

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Estimació temporal inicial de les tasques . . . . .                                     | 17 |
| 2.  | Llistat de recursos . . . . .   | 19 |
| 3.  | Planificació temporal definitiva de les tasques . . . . .                               | 21 |
| 4.  | Estimació econòmica de les tasques . . . . .  | 23 |
| 5.  | Cost per rol . . . . .  | 24 |
| 6.  | Costos de hardware . . . . .  | 24 |
| 7.  | Costos de software . . . . .  | 25 |
| 8.  | Costos indirectes . . . . .   | 25 |
| 9.  | Costos de contingència . . . . .  | 25 |
| 10. | Costos d'imprevistos . . . . .  | 26 |
| 11. | Indicadors de control de gestió . . . . .   | 26 |
| 12. | Costos directes reals . . . . .   | 27 |
| 13. | Cost per rol real . . . . .   | 28 |
| 14. | Cost per hardware real . . . . .  | 28 |
| 15. | Cost indirectes reals . . . . .   | 28 |
| 16. | Contingències actualitzades . . . . .   | 29 |
| 17. | Resum de costos . . . . .   | 29 |
| 18. | ScoreCalculators per al Domini 1 . . . . .  | 45 |
| 19. | Exemple del resultat de l'execució de les màquines virtuals . . . . .                   | 50 |
| 20. | Característiques dels elements del test 1 en la validació de la implementació. . . . .  | 51 |
| 21. | Resultats del test 1 en la validació de la implementació. . . . .                       | 52 |
| 22. | Característiques dels elements del test 2 en la validació de la implementació . . . . . | 52 |
| 23. | Resultats de la prova 2 en la validació de la implementació . . . . .                   | 53 |
| 24. | Característiques dels elements de l'experiment 1 . . . . .                              | 53 |
| 25. | Resultats de l'experiment 1 amb el motor CloudSim . . . . .                             | 54 |
| 26. | Resultats de l'experiment 1 amb el motor OptaPlanner . . . . .                          | 54 |
| 27. | Característiques dels elements de l'experiment 2 . . . . .                              | 55 |
| 28. | Resultats de l'experiment 2 amb el motor CloudSim . . . . .                             | 56 |
| 29. | Resultats de l'experiment 2 amb el motor OptaPlanner . . . . .                          | 56 |
| 30. | Característiques dels elements de l'experiment 3 . . . . .                              | 57 |
| 31. | Resultats de l'experiment 3 . . . . .   | 58 |
| 32. | Característiques dels elements de l'experiment 4 . . . . .                              | 59 |
| 33. | Resultats de l'experiment 4 . . . . .   | 59 |
| 34. | Característiques dels elements de l'experiment 5 . . . . .                              | 60 |
| 35. | Resultats de l'experiment 5 . . . . .   | 60 |
| 36. | Resultats de l'experiment 5 calculat amb el <i>CustomScoreCalculator</i> . . . . .      | 61 |
| 37. | Consum energètic dels recursos utilitzats . . . . .                                     | 64 |

## Índex d'algorismes

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | Migració de Cloudlets . . . . .   | 36 |
| 2. | Mapeig de cloudlets i enviament al Datacenter . . . . .                                   | 39 |
| 3. | Enviament de VMs a allotjar al Datacenter . . . . .                                       | 40 |
| 4. | Addició de noves màquines virtuals i/o cloudlets al sistema en temps d'execució . . . . . | 41 |
| 5. | Allotjament de màquines virtuals a hosts amb el motor d'OptaPlanner . . . . .             | 46 |
| 6. | Assignació dels cloudlets a les màquines virtuals . . . . .                               | 47 |



# 1. Introducció

## 1.1. Context

El cloud computing és un paradigma cada dia més freqüent al món digital. Es tracta d'una tecnologia de computació basada en la xarxa, on s'ofereixen aplicacions i dades a demanda dels usuaris a través d'Internet, tot reunint una sèrie de característiques, entre elles la fiabilitat, seguretat, tolerància a caigudes o la transparència als usuaris. Es pot presentar al client de tres formes diferents [1]:

1. Infraestructura com a Servei (IaaS): s'ofereixen recursos computacionals, com ara capacitat de processament, emmagatzematge i ample de banda. Un exemple d'aquest tipus és l'Elastic Cloud Computing (EC2) d'Amazon [2].
2. Plataforma com a Servei (PaaS): afegeix les eines necessàries per desenvolupar software a una infraestructura determinada, com bé pot ser Windows Azure [3].
3. Software com a Servei (SaaS): es dota a l'usuari d'una aplicació completa. En aquest cas, Google Docs és una bona referència [4].

A més, existeixen diferents tipus de implementació del Cloud Computing, basant-se sobretot en el model de negoci que tingui una companyia:

- Núvol privat: s'implementa una infraestructura amb l'objectiu que l'utilitzi una única organització, seguint els seus principis.
- Núvol públic: el desenvolupen terceres parts, està obert al públic en general i es permet la seva utilització a canvi d'uns preus acordats.
- Núvol comunitari: la seva utilització només es permet a comunitats específiques d'usuaris que pertanyen a organitzacions amb interessos comuns.
- Núvol híbrid: és una arquitectura composta pel núvol privat i el núvol públic, així doncs, una part dels serveis s'ofereix de forma pública, i l'altre part privadament.

En qualsevol cas, aquesta tecnologia necessita un ecosistema on reproduir-se, necessita allotjar-se en un centre de dades, tenir la capacitat de que un usuari extern es pugui comunicar i establir una connexió, disposar d'elements físics on realitzar les tasques demandades pel client o guardar la seva informació per tenir-la disponible en tot moment. És aquí on entra en joc un dels dos projectes en el que es recolzarà aquest treball, el CloudSim [5]. L'esmentat en l'anterior paràgraf requereix un escenari real i disposar de recursos. El projecte CloudSim atorga una sèrie de funcionalitats, com la modelació, simulació i experimentació d'infraestructures i aplicacions en el núvol sense haver de recórrer al món real.

El segon projecte en el que es recolza el treball és OptaPlanner, que té una visió més enfocada a la resolució de problemes [6]. L'objectiu principal d'aquesta eina és oferir a l'usuari un motor que sigui capaç d'utilitzar els recursos que té disponibles per trobar una solució òptima al problema plantejat, tot i tenint en compte la finalitat o les restriccions que l'usuari ha establert.

## 1.2. Parts interessades

El projecte no està lligat a cap empresa i és independent de cap grup d'investigació de la universitat. El tema que es desenvolupa va ser proposat pel propi director del TFG <sup>1</sup>, així que és un dels principals interessats en la realització del mateix.

Els dos projectes en els quals es basa aquest Treball Final de Grau són de lliure distribució, de la mateixa forma que serà el producte resultant. D'aquesta manera, qualsevol individu que vulgui desplegar un servei al núvol, ja sigui un particular o una corporació, es pot veure beneficiada pel desenvolupament del document. A més, l'àmbit del treball fa que aquest sigui una alternativa idònia per a startups<sup>2</sup> i petites i mitjanes empreses amb recursos econòmics limitats, que podran arribar a oferir un millor servei gràcies a les funcionalitats que posarà en les seves mans aquesta nova eina.

## 1.3. Problema

A punt d'entrar en la tercera dècada del segle XXI, les companyies del sector tecnològic no deixen d'innovar. La investigació i el desenvolupament és una de les característiques que defineixen el sector i és necessari per no quedar-se endarrerit respecte la competència. Un dels focus on s'està prestant més atenció és en descarregar de treball l'eina de la qual disposa el client per accedir al món tecnològic, com pot ser un mòbil. D'aquesta manera, els dispositius interpretarien dades que es calculen en un altre lloc, sense que l'usuari se n'adoni.

Tot això dona peu a l'existència de centres de processament de dades, on s'executen rutines i procediments per calcular informació, per després posar en coneixement als clients dels resultats. Aquests centres es componen de molts computadors interconnectats entre si, que poden arribar a actuar com una unitat i sovint s'anomenen supercomputadors.

Aquests supercomputadors amaguen una gran complexitat darrera seu, com la seguretat i recuperació de les dades, però aquest TFG s'enfoca a com utilitzar els recursos disponibles per processar una sèrie de tasques seguint unes normes específiques i amb un objectiu concret.

Concretament, es vol fer una simulació de la realitat. Virtualitzar el hardware del qual es disposa per poder crear màquines virtuals i executar un conjunt de tasques en elles, seguint unes polítiques de programació optimitzades per aconseguir diferents finalitats, com poden ser, assolir la màxima eficiència i reduir el temps d'execució o reduir la empremta que es provoca en el medi ambient degut al consum d'energia. A més, s'obindran una sèrie de resultats o mètriques, com poden ser el temps d'execució de les tasques, les màquines utilitzades o el consum d'energia del sistema.

El projecte, es centra per tant en ajudar a les entitats que tenen centres de processament de dades que ja estan consolidats com en ajudar als que es pretenen introduir en aquest terreny. Ofereix a l'usuari la capacitat de configurar completament un centre de dades i poder parametritzar les màquines que el componen, les tasques a executar, les polítiques per executar aquestes proces-

---

<sup>1</sup>Treball de Final de Grau

<sup>2</sup>empresa emergent amb recursos limitats

sos i eines per canviar el comportament de la simulació.

Més específicament, el projecte utilitza com a base CloudSim, que permet a l'usuari configurar un entorn basat en tres nivells: màquina física, màquina virtual i processos. Per lligar aquests tres nivells, entra en joc OptaPlanner, que proporciona un motor per trobar la millor solució possible donat un problema. El problema és lligar els components entre si, assignar màquines virtuals a màquines físiques, i els processos a màquines virtuals. L'usuari defineix quines normes ha de complir la solució i OptaPlanner troba la millor possible. Un cop s'ha fet tot el mapeig, es procedeix a calcular el resultat de la simulació, que ajudarà a orientar al client al món real.

#### **1.4. Marc legal**

Les dues tecnologies emprades per desenvolupar el projecte, CloudSim i OptaPlanner, són de codi obert, sota el mateix tipus de llicència, Apache Software License 2.0 [7]. D'aquest mode, allibera a l'usuari per fer servir el codi i modificar-lo al seu gust, així com per utilitzar-lo amb fins comercials. A més, com és un software de simulació de recursos cloud, no ha de complir les mateixes normatives legals com la privacitat de les dades, així doncs, el desenvolupament del projecte no es veu limitat per cap legislació.

## 2. Estat de l'art

En aquest apartat s'analitzaran recerques anteriors sobre el tema en qüestió, ja que no és l'únic que intenta desenvolupar una eina per simular tasques en un entorn virtual, i es tindrà en compte si aporten alguna idea útil per adaptar-la al projecte actual.

### 2.1. CloudAnalyst

El projecte CloudAnalyst [8] es basa en CloudSim, esmentat prèviament. Estén el concepte i pretén investigar tècniques de simulació existents per estudiar sistemes distribuïts geogràficament, on els usuaris i els centres de dades poden estar allotjats arreu del món. S'utilitza per determinar la conducta d'aplicacions de gran escala quan es despleguen en aquest entorn.

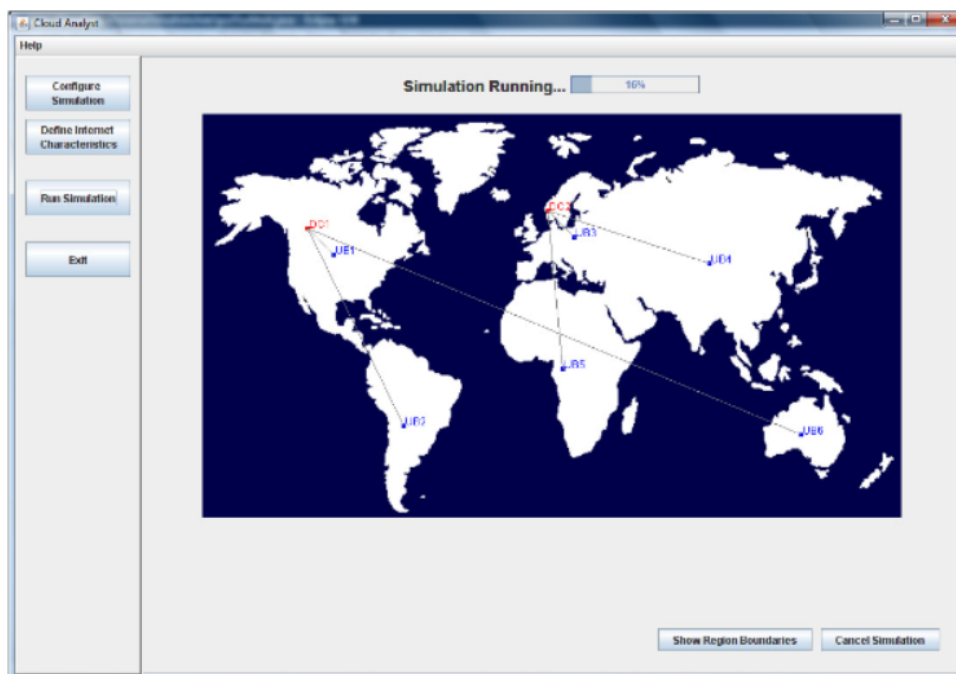


Figura 1: Diferents usuaris es connecten a dos centres de dades a CloudAnalyst

A més, un dels seus objectius principals és representar les dades extretes de les simulacions de forma visual, com pot ser el temps de resposta de l'aplicació, patrons d'ús, el cost d'una operació o quant triga un centre de dades a donar una resposta.



Figura 2: Pantalla de resultats de CloudAnalyst

El projecte està molt enfocat a xarxes distribuïdes i a les interaccions que els diferents usuaris que l'utilitzen tenen amb els centres de dades. Tot i això, implementa algorismes interessants per balancejar la càrrega de les tasques sobre un conjunt de màquines, com be pot ser el Throttled Load Balancer.

## 2.2. GreenCloud

GreenCloud [9] és un projecte que es basa en NS-2 (Network Simulation), desenvolupat per Dzmitry Kliazovich a la Universitat de Luxemburg.

El seu objectiu és dotar a l'usuari de la capacitat de reproduir simulacions de computació en el núvol tenint en compte l'impacte energètic. Proporciona una interfície per a configurar un centre de dades i reporta informació molt detallada sobre el consum energètic dels components que conformen aquests, com la que s'exposa a continuació:

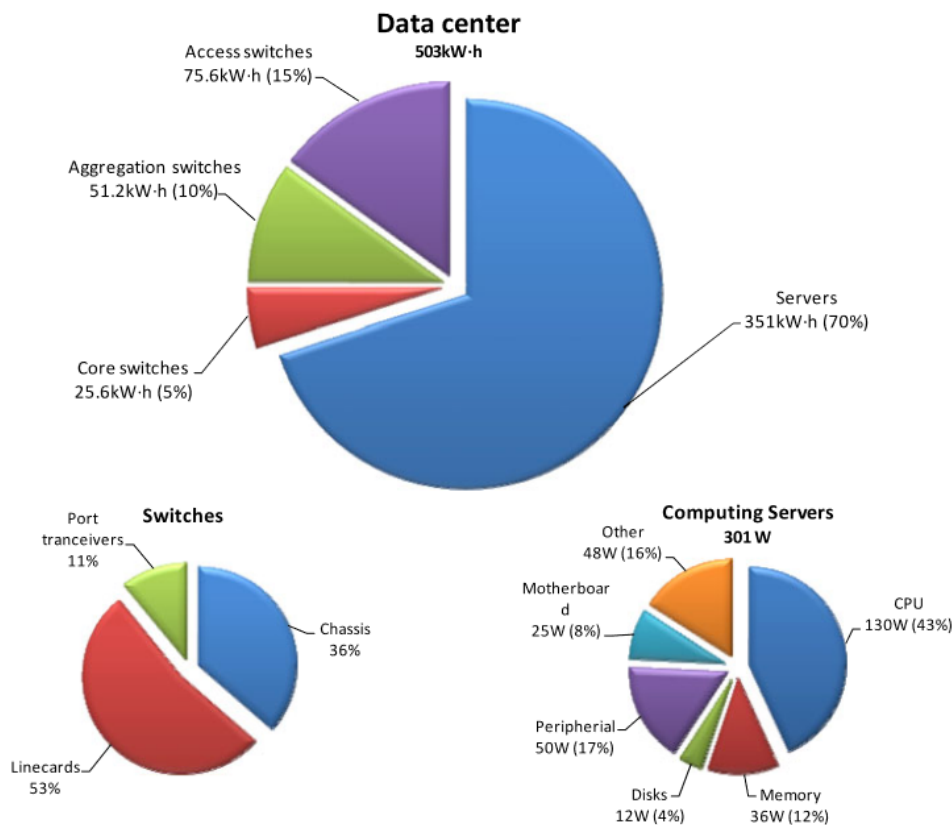


Figura 3: Estimació del consum energètic d'un centre de dades amb GreenCloud

### 2.3. Resultats

A partir dels estudis anteriors, els seus autors obtenen com a resultat conductes aproximades a la realitat. Per exemple, el primer demostra que apropar els servidors als usuaris millora la qualitat del servei, o que un bon balanceig de càrrega entre els diferents centres de dades comporta un salt qualitatiu important en el rendiment. Per altra banda, si ens fixem en les conclusions del desenvolupador del projecte GreenCloud, ens trobem que quan la càrrega computacional es distribueix entre els diferents recursos, el consum d'energia es dispara, ja que totes les màquines es posen a treballar. Aquesta última afirmació es tindrà en compte quan s'estudiï el tema del consum enèrgic en el treball actual.

Ambdós projectes tenen un denominador comú, és el fet que existeix un punt on hi ha una frontera, no tenen en compte les possibles fallades de sistema que es poden ocasionar i que són típiques en un entorn real, i això els distancia de la realitat. En el món real un centre de dades es pot veure afectat i interromput per un tall de llum o un cable desgastat, fet que és molt difícil a tenir en compte en un entorn virtual.

### 3. Abast del projecte

#### 3.1. Objectius

La meta d'aquest projecte és arribar a oferir a qualsevol usuari l'oportunitat de disposar d'una eina que li faciliti simular l'execució d'un nombre definit de tasques en un entorn virtual sota un conjunt de restriccions. També es pretén mostrar a l'usuari quina és la millor solució depenent de la finalitat de cada cas, ja sigui obtenir el millor rendiment o aconseguir la mínima empremta possible en el medi ambient.

Així doncs, es llisten els següents objectius del projecte:

- Anàlisi i integració de les heurístiques que proporciona OptaPlanner en CloudSim.
- Anàlisi, integració i desenvolupament de polítiques de scheduling<sup>3</sup> executades a través d'OptaPlanner en CloudSim.
- Anàlisi i integració de polítiques de scheduling externes a OptaPlanner en CloudSim.
- Desenvolupament, aplicació i estudi dels resultats obtinguts aplicant les diferents restriccions i polítiques de scheduling, tenint en compte les diferents finalitats com poden ser eficiència o estalvi energètic.
- Definir quines són les polítiques que millor s'adapten segons l'impacte que es vol obtenir en la solució del problema.
- Analitzar, comparar i determinar quines polítiques donen un millor resultat respecte a la configuració dels recursos del sistema, les implementades per CloudSim o les establertes amb OptaPlanner.

#### 3.2. Obstacles i limitacions

La principal limitació que es pot trobar durant el desenvolupament del projecte és que existeixen variables en el món físic que s'obviaran degut a la dificultat de la seva implementació, l'augment de la complexitat que comporta i el temps requerit, per tant no es podran aplicar a l'entorn virtualitzat, resultant en un sistema que no és completament precís. Per posar un exemple, no es controlaran fallades del hardware, problemes en la comunicació o errors en la sincronització entre les diferents màquines, limitant d'aquesta forma la fiabilitat del resultat.

Un dels possibles obstacles que poden sorgir durant la realització del projecte és l'endarreriment en l'execució de les tasques. Podria donar-se que el plantejament temporal de les tasques que es fa no és precís i això afectaria directament en el temps de termini del projecte, suposant un greu obstacle per presentar el mateix en la fita establerta. A més, també es pot donar que els recursos materials que es fan servir, com per exemple l'ordinador, s'espatlli suposant un contratemps

---

<sup>3</sup>programació o balanceig dels elements que componen un sistema

durant el transcurs del treball.



## 4. Metodologia i rigor

### 4.1. Mètode de treball

Durant la realització d'aquest TFG, els passos que es seguiran consistiran en:

1. Documentació i estudi de les eines que es faran servir, tal com són CloudSim i OptaPlanner.
2. Plantejament i disseny de la integració en un únic sistema.
3. Implementació del disseny proposat en l'anterior punt.
4. Prova i error: si la implementació no resulta satisfactòria s'analitzaran els punts que fallen i es retornarà al pas 2.
5. Manteniment: si es considera oportú incloure alguna millora significativa al projecte per aportar més funcionalitats, es retornarà al pas 2.

Es seguirà la metodologia Agile [10] en el desenvolupament del projecte. El propi treball es dividirà en tasques de granularitat baixa, que es pretenen completar en un període no superior a 2 setmanes cadascuna d'elles. Quan es finalitza una tasca, abans de continuar amb la següent es revisarà l'estat actual i es decidirà si cal fer algun canvi en la planificació, el disseny, el codi i es documentarà.

### 4.2. Eines de seguiment

En primer lloc, s'utilitzaran els portals web proporcionats per la universitat, com són el Racó i la Atenea per gestionar les entregues i saber l'estat actual del projecte. A més, es farà servir Gmail com a eina de contacte amb el director del projecte, per tal d'establir reunions de control.

Per mantenir una còpia segura del treball en tot moment, i si es vol, una biblioteca per emmagatzemar versions, es farà servir Dropbox. S'intentarà treballar sempre que es pugui connectat a la xarxa i sobre els propis fitxers allotjats al servidor de l'aplicació, per no perdre cap modificació que s'efectuï.

A l'hora d'organitzar l'assignatura, es tindran en compte dos aplicacions en el núvol. La primera d'elles serà Ganttter, on es planificaran les tasques del projecte, la seva descripció i la línia temporal que s'haurà de seguir. Addicionalment, es farà servir Trello com a tauler de tasques, on aquestes es podran classificar en diferents estats, com poden ser pendents, en curs o finalitzades.

### 4.3. Mètode de validació

Durant el transcurs del projecte, es concertaran reunions, presencials preferiblement, amb el director a càrrec del mateix. En aquestes reunions s'actualitzarà l'estat del projecte, es presentarà

l'avanç realitzat en les diferents tasques, es resoldran de forma conjunta les possibles desviacions que sorgeixen i es seguiran les recomanacions relacionades amb la qualitat del treball i el seu correcte progrés.

Més endavant, a la secció [9.3](#) s'explica la correctesa de la implementació i els experiments.

## 5. Descripció i calendari de les tasques

### 5.1. Planificació temporal inicial

Aquest Treball Final de Grau s'estima que s'allargarà durant tot un quadrimestre lectiu, en concret, s'ha començat a treballar el 17 de setembre, i la data de finalització està prevista pel dia 23 de gener del 2019. Es preveu que es dedicaran 4 hores diàries. Per portar un correcte seguiment de la realització del projecte i organitzar-lo apropiadament s'ha desglossat en diverses tasques, associant-li un pes en hores, tal com mostra la taula 1:

| Tasca  | Hores      | Dependències       |
|--|------------|--------------------|
| <b>1. Introducció al projecte</b>                              | <b>90</b>  |                    |
| 1.1. Recerca d'informació i aprenentatge                       | 15         |                    |
| 1.2. GEP   | 55         |                    |
| 1.2.1. Abast i contextualització                               | 20         | 1.1                |
| 1.2.2. Planificació temporal                                   | 10         | 1.2.1              |
| 1.2.3. Pressupost i sostenibilitat                             | 15         | 1.2.2              |
| 1.2.4. Plec de condicions                                      | 10         | 1.2.3              |
| <b>2. Planificació i disseny de la integració</b>              | <b>45</b>  | <b>1.2.1</b>       |
| 2.1. Definició de les funcionalitats                           | 5          |                    |
| 2.2. Recerca de connexions entre CloudSim i OptaPlanner        | 15         |                    |
| 2.3. Disseny de la integració                                  | 20         | 2.1, 2.2           |
| 2.4. Disseny de la interfície gràfica                          | 5          | 2.1, 2.2           |
| <b>3. Implementació de la integració</b>                       | <b>190</b> | <b>2</b>           |
| 3.1. Implementació dels centres de dades i hosts               | 25         |                    |
| 3.2. Implementació de les tasques                              | 25         |                    |
| 3.3. Implementació de les restriccions                         | 25         |                    |
| 3.4. Implementació de les polítiques de distribució de càrrega | 25         |                    |
| 3.5. Interconnexió entre els components                        | 65         | 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 |
| 3.6. Flux de treball   | 25         | 3.5                |
| <b>4. Implementació de la interfície gràfica</b>               | <b>40</b>  | <b>3</b>           |
| <b>5. Realització de tests</b>                                 | <b>25</b>  | <b>4</b>           |
| <b>6. Documentació del projecte</b>                            | <b>75</b>  |                    |
| 6.1. Redacció de la memòria                                    | 60         |                    |
| 6.2. Preparació de la defensa                                  | 15         | 6.1                |
| <b>7. Control del projecte</b>                                 | <b>20</b>  |                    |
| <b>Total</b>   | <b>465</b> |                    |

Taula 1: Estimació temporal inicial de les tasques

A més a més, s'ha adjuntat un annex al final d'aquest document, on es fa explícit el període temporal que es pretén que ocupi cada tasca enumerada a la Taula 1. Concretament, es mostra a l'annex A, on també es poden apreciar les dependències entre cada una de les tasques, tot i que es comentaran més específicament a l'apartat 5.3.

## 5.2. Descripció de les tasques

- Introducció al projecte: etapa on la recerca d'informació tindrà més pes. Es buscaran referències i s'aprendrà el funcionament de les dos tecnologies que s'utilitzaran en el projecte, CloudSim i OptaPlanner. A més, es definirà el context del projecte, la seva organització i les metes que es pretenen assolir.
- Planificació i disseny de la integració: en primer lloc, es numeraran les funcionalitats que es desitgen aconseguir al final del projecte, i a continuació es farà recerca de punts on ambdues tecnologies poden interconnectar-se per posteriorment definir un disseny.
- Implementació de la integració: es seguirà el disseny proposat al anterior apartat per implementar la integració de OptaPlanner en CloudSim.
- Implementació de la interfície gràfica: anàlogament al punt anterior, s'implementarà una GUI<sup>4</sup> a partir del disseny proposat.
- Realització de tests: es comprovarà la correctesa de la implementació realitzada i es faran els canvis oportuns si es detecten errors.
- Realització dels experiments: es procedirà a reproduir els experiments per tal de corroborar que s'han assolit els objectius.
- Documentació del projecte: al principi es redactarà tot el relatiu amb GEP<sup>5</sup> i segons es progressi es documentarà el projecte en una memòria, i finalment es prepararà una presentació oral per defensar el TFG.
- Control del projecte: activitat que es durà a terme intermitentment, inclou reunions amb el director del treball per comprovar l'estat del projecte i el seu correcte desenvolupament, tot i que també servirà per controlar que es respecti el temps i activar els pla d'acció en cas que sigui necessari.

## 5.3. Dependències

D'acord amb l'estipulat al diagrama de Gantt, existeixen una sèrie de dependències entre les diferents tasques, que s'explicaran en aquest apartat. En primer lloc, existeix una relació de dependència entre cada bloc de tasques. Concretament, a cada bloc se li ha assignat una tonalitat diferent al diagrama, això significa que no es podrà procedir a realitzar cap tasca d'aquest bloc sense haver finalitzat prèviament totes les del bloc anterior. Així doncs, s'estableix una seqüencialitat entre elles.

Dintre de cada bloc de tasques, també existeix una relació de precedència entre cada una d'elles. Aquesta lògica no s'aplica completament al tercer apartat, el d'implementació, on les quatre primeres es podran realitzar en paral·lel, tot i que per motius d'organització, només es podran

---

<sup>4</sup>Interfície Gràfica d'Usuari

<sup>5</sup>Gestió de Projectes

realitzar dues a la vegada. Un cop s'han finalitzat aquestes primeres quatre tasques, la seqüencialitat tornarà a entrar en vigor fins a la finalització del treball.

## 5.4. Recursos

En aquest apartat es nombraran els diferents components que faran possible l'elaboració del projecte. Cal especificar que en relació als recursos humans emprats, només una persona estarà a càrrec de completar les tasques establertes, l'autor del projecte, tot i que el director podrà intervenir en casos puntuals. La Taula 2 enumera els recursos materials:

| Recurs                            | Motiu d'ús   |
|-----------------------------------|--|
| Ordinador portàtil amb Windows 10 | Desenvolupament complet del projecte, des del disseny, passant per la implementació fins a arribar a la redacció de la memòria |
| Correu electrònic Gmail           | Comunicació amb el director del Treball Final de Grau i amb el tutor del curs de Gestió de Projectes.                          |
| Racó i Atenea                     | Entrega de documents necessaris o gestions relacionades amb l'estat del projecte.  |
| Gantter                           | Software per realitzar una estimació temporal de les tasques que conformen el projecte en forma d'esquema.                     |
| Trello                            | Software per administrar les tasques d'un projecte i agrupar-les en diverses categories.                                       |
| Dropbox                           | Emmagatzematge de totes les dades relatives al projecte en un servidor en el núvol, per poder recuperar-les a l'instant.       |
| Connexió a la xarxa               | Accés a la informació i al software descrit prèviament.  |
| Overleaf                          | Editor de LaTeX en línia utilitzat en la redacció de la memòria final.   |
| IntelliJ IDEA Community Edition   | Software per desenvolupar el codi.   |

Taula 2: Llistat de recursos

## 5.5. Desviacions i impacte

Les tasques del projecte estan distribuïdes durant tota l'extensió del calendari que comprèn el quadrimestre de tardor, des del setembre fins al gener, però com a tot projecte, es poden donar una sèrie de circumstàncies que afectarien al correcte desenvolupament del projecte i afectaria a la planificació temporal establerta, modificant les dates de començament i finalització de les mateixes i comprometent la finalització del projecte en la data límit, que es situa entre el 28 de gener i l'1 de febrer de 2019.

Actualment s'ha compactat la duració de les tasques per acabar amb una setmana d'antelació, però es poden donar una sèrie de problemes que desviaria el plantejament inicial. Pot donar-se que l'ordinador que s'utilitza pel desenvolupament del projecte s'espatlli, en aquest cas no es perdria informació degut a que es treballarà a arxius en línia, però si pot suposar perdre un dia sencer de treball, a més que els dies que perduri la avaria s'haurà de tenir en compte que es disposara de menys temps degut al desplaçament que comporta canviar de lloc de treball. Una altra possibilitat és que durant la implementació de la integració, es comprovi que el disseny proposat no és l'adequat, això implicaria tornar a iterar sobre el disseny. De manera semblant passaria amb el disseny de la interfície i amb el testeig, si donen problemes s'hauria de tornar

enrere i la estimació inicial de temps es veuria dilatada, amb conseqüències que es tractaran de pal·liar amb les solucions del següent apartat.

## 5.6. Pla d'acció

Un cop detectades quines poden ser les desviacions que sorgeixin durant la realització del projecte, es donarà una solució eficient per disminuir l'impacte.

Primerament, si l'ordinador descrit a l'apartat de recursos s'espalla, l'alternativa adient és desplaçar-se als laboratoris de la FIB<sup>6</sup>, on es disposa de tot el material necessari per continuar sense problemes, ja que totes les dades estaran guardades a la xarxa, seran fàcilment accessibles i no mancarà cap recurs necessari.

Si el que falla és la execució de les tasques esmentades al apartat anterior, es disposa de cert marge entre la finalització estimada del projecte i el torn de lectura. En concret, hi han 7 dies de marge que es podran ocupar si és estrictament necessari. És possible que aquesta dilatació no sigui suficient, de tal forma que s'hauria de prendre una mesura més dràstica. Aquesta mesura consistiria en escurçar al màxim la part d'implementació de la interfície gràfica, concretament de 8 a 1 dies. Això és possible ja que el projecte CloudSim té nombroses extensions, i algunes d'elles proporcionen una GUI. Tot i que no s'adaptaria completament a la solució proposada, realitzant uns petits canvis obtindriem una GUI funcional.

Una altra possible alternativa seria dedicar hores extra al projecte. Si al principi del document s'especifica que es treballaran 4 hores diàries, si és necessari es pot ampliar en 1 hora diària addicional.

Així doncs, amb totes les mesures esmentades es disposa d'un marge de 14 dies extra com a mínim per acabar el projecte en la fita estipulada si es presenta algun problema.

## 5.7. Revisió de la planificació

El projecte ha sofert canvis importants respecte a la planificació temporal inicial. El total d'hores diàries que s'han pogut dedicar al desenvolupament del projecte ha sigut inferior a l'estipulat inicialment per motius de feina externa. Això ha provocat un retràs irrecuperable en el progrés del mateix. Aquest notable retràs no estava contemplat en les possibles desviacions, per tant, no hi havia un pla d'acció establert. Afortunadament, s'ha pogut estendre el termini d'entrega del projecte al torn d'abril de 2019.

Tot i això, no s'ha desviat molt de les tasques definides inicialment, però s'han produït canvis que cal mencionar. La Taula 3 mostra quina ha sigut la descomposició final de les tasques, juntament amb el total d'hores reals dedicades per a cada una d'elles i les dependències.

---

<sup>6</sup>Facultat d'Informàtica de Barcelona

| Tasca  | Hores      | Dependències       |
|--|------------|--------------------|
| 1. Introducció al projecte                                     | 70         |                    |
| 1.1. Recerca d'informació i aprenentatge                       | 15         |                    |
| 1.2. GEP   | 55         |                    |
| 1.2.1. Abast i contextualització                               | 20         | 1.1                |
| 1.2.2. Planificació temporal                                   | 10         | 1.2.1              |
| 1.2.3. Pressupost i sostenibilitat                             | 15         | 1.2.2              |
| 1.2.4. Plec de condicions                                      | 10         | 1.2.3              |
| 2. Planificació i disseny de la integració                     | 70         | 1.2                |
| 2.1. Definició de les funcionalitats                           | 15         |                    |
| 2.2. Recerca de connexions entre CloudSim i OptaPlanner        | 20         |                    |
| 2.3. Disseny de la integració                                  | 35         | 2.1, 2.2           |
| 3. Implementació de la integració                              | 235        | 2                  |
| 3.1. Implementació dels centres de dades i hosts               | 25         |                    |
| 3.2. Implementació de les màquines virtuals                    | 25         |                    |
| 3.3. Implementació de les tasques                              | 25         |                    |
| 3.4. Implementació de les polítiques de distribució de càrrega | 60         |                    |
| 3.5. Interconnexió entre els components                        | 65         | 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 |
| 3.6. Flux de treball   | 35         | 3.5                |
| 4. Realització de tests  | 30         | 3                  |
| 5. Realització dels experiments                                | 40         |                    |
| 6. Documentació del projecte                                   | 75         |                    |
| 6.1. Redacció de la memòria                                    | 60         |                    |
| 6.2. Preparació de la defensa                                  | 15         | 6.1                |
| 7. Control del projecte  | 20         |                    |
| <b>Total</b>   | <b>540</b> |                    |

Taula 3: Planificació temporal definitiva de les tasques

Un dels aspectes més importants a comentar és l'eliminació de la interfície gràfica d'usuari, desplaçada a treball futur 12. La conseqüència d'aquest fet és la pèrdua en la llegibilitat dels resultats que ofereix la simulació. En benefici, es guanya temps per poder implementar eines útils, com la possibilitat d'afegir nous components al sistema en temps d'execució, que es comentaran posteriorment a l'apartat 8.

Un altre punt és que s'afegeix un nou component a la implementació, les màquines virtuals. Així doncs, es disposa d'un model complet de tres nivells, tal i com s'esmenta al apartat 1.3, de màquines físiques, màquines virtuals i tasques.

Per altra banda, s'ha afegit un apartat sencer, la realització dels experiments, on es pretén fer un paral·lelisme entre les polítiques definides a OptaPlanner i les ja existents a CloudSim, per posteriorment comparar resultats i determinar qui gestiona millor els recursos del sistema per trobar una solució òptima, entre d'altres objectius.

Aquesta variació no afecta els objectius a assolir establerts al principi, sinó que afegeix un altre gràcies a aquest últim punt afegit, que seria analitzar, comparar i determinar quines polítiques donen un millor resultat respecte a la configuració dels recursos del sistema, si les implementades per CloudSim o les establertes amb OptaPlanner.

Finalment, tots aquests canvis comporten certa variació en el total d'hores que s'assignen al treball. Concretament, ha augmentat la dedicació en 75 hores, afectant així a la planificació econòmica, que es veurà revisada a l'apartat [6.8](#).



## 6. Identificació i estimació de costos

Dur a terme un projecte com aquest comporta una sèrie de despeses, és per això que en aquest apartat es calcularà un pressupost per controlar econòmicament el treball. Es tindran en compte tant les tasques a desenvolupar com els recursos emprats per completar-les. A més, es definiran controls per assegurar que els costos no se'n van més enllà dels límits establerts.

### 6.1. Costos directes

En aquest projecte, com a mà d'obra només es disposa d'una persona, el propi autor. Aquesta persona s'encarregarà de desenvolupar el projecte de principi a final, així doncs, treballarà un total de 465 hores tal i com es va definir prèviament i tindrà la responsabilitat de ser cap de projecte, dissenyador, desenvolupador i testejador del mateix. El propi líder escriurà la memòria i defensarà el treball posteriorment. Cada rol tindrà un salari associat diferent, que s'estima gràcies a un estudi realitzat per la consultora Hays [11]. A la Taula 4, es detalla a nivell tasca qui la realitzarà i el seu cost.

| Tasca/activitat  | Hores      | Rol             | Sou (€/h) | Cost (€)     |
|--|------------|-----------------|-----------|--------------|
| 1.1. Recerca d'informació i aprenentatge                       | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 1.2.1 Abast i contextualització                                | 20         | Cap de projecte | 30        | 600          |
| 1.2.2 Planificació temporal                                    | 10         | Cap de projecte | 30        | 300          |
| 1.2.3 Pressupost i sostenibilitat                              | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 1.2.4 Plec de condicions                                       | 10         | Cap de projecte | 30        | 300          |
| 2.1. Definició de les funcionalitats                           | 5          | Cap de projecte | 30        | 150          |
| 2.2 Recerca de connexions entre CloudSim i OptaPlanner         | 15         | Dissenyador     | 23        | 345          |
| 2.3. Disseny de la integració                                  | 20         | Dissenyador     | 23        | 460          |
| 2.4. Disseny de la GUI   | 5          | Dissenyador     | 23        | 115          |
| 3.1. Implementació dels centres de dades i hosts               | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.2. Implementació de les tasques                              | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.3. Implementació de les restriccions                         | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.4. Implementació de les polítiques de distribució de càrrega | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.5. Interconnexió entre els components                        | 65         | Desenvolupador  | 23        | 1495         |
| 3.6. Flux de treball   | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 4. Implementació de la GUI                                     | 40         | Desenvolupador  | 23        | 920          |
| 5. Realització de tests  | 25         | Testejador      | 10        | 250          |
| 6.1. Redacció de la memòria                                    | 60         | Cap de projecte | 30        | 1800         |
| 6.2. Preparació de la defensa                                  | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 7. Control del projecte  | 20         | Cap de projecte | 30        | 600          |
| <b>Total</b>   | <b>465</b> | <b>-</b>        | <b>-</b>  | <b>11560</b> |

Taula 4: Estimació econòmica de les tasques

D'aquesta manera, el pressupost destinat a cada integrant del projecte queda desglossat tal i com indica la Taula 5:

| Rol             | Hores      | Sou (€/h) | Cost (€)     |
|-----------------|------------|-----------|--------------|
| Cap de projecte | 170        | 30        | 5100         |
| Dissenyador     | 40         | 23        | 920          |
| Desenvolupador  | 230        | 23        | 5290         |
| Testejador      | 25         | 10        | 250          |
| <b>Total</b>    | <b>465</b> | <b>8</b>  | <b>11560</b> |

Taula 5: Cost per rol

## 6.2. Costos de hardware

En aquest apartat es llista el material físic necessari per desenvolupar el projecte sense cap inconvenient a la Taula 6, que és el que estarà disponible pels recursos humans a l'oficina. A més d'especificar que es farà servir, també es fa explícit la seva vida útil i l'amortització.

| Producte           | Preu (€)   | Unitats  | Vida útil (anys) | Amortització (€) |
|--------------------|------------|----------|------------------|------------------|
| Ordinador portàtil | 665        | 1        | 4                | 69               |
| Monitor de 23"     | 129        | 1        | 5                | 11               |
| Teclat mecànic     | 49         | 1        | 5                | 4                |
| Ratolí Logitech    | 29         | 1        | 3                | 4                |
| Impressora EPSON   | 79         | 1        | 2                | 16               |
| Paper DIN A4       | 1          | 100      | -                | -                |
| Tinta impressora   | 59         | 2        | -                | -                |
| <b>Total</b>       | <b>951</b> | <b>-</b> | <b>-</b>         | <b>104</b>       |

Taula 6: Costos de hardware

Per calcular l'amortització, s'estima que amb els quatre primers productes es treballaran els 5 mesos de durada del projecte.

## 6.3. Costos de software

A més, per completar el projecte es necessitarà un conjunt de programes. Aquesta llista de software no comportarà cap cost, ja que s'utilitzaran eines gratuïtes per reduir el pressupost del projecte, tal com mostra la Taula 7:

| Producte                        | Preu (€) | Unitats  | Vida útil (anys) | Amortització (€) |
|---------------------------------|----------|----------|------------------|------------------|
| Gmail                           | 0        | 1        | -                | 0                |
| Gantter                         | 0        | 1        | -                | 0                |
| Trello                          | 0        | 1        | -                | 0                |
| Dropbox                         | 0        | 1        | -                | 0                |
| Overleaf                        | 0        | 1        | -                | 0                |
| IntelliJ IDEA Community Edition | 0        | 1        | -                | 0                |
| <b>Total</b>                    | <b>0</b> | <b>-</b> | <b>-</b>         | <b>0</b>         |

Taula 7: Costos de software

#### 6.4. Costos indirectes

Els costos indirectes són tots aquells que no se li poden atribuir a una activitat en concret. La realització del projecte es durà a terme des de casa, ja que es disposa de tot el material necessari, a més, d'aquesta manera els costos de llogar una oficina són nuls. Els costos associats a la amortització del hardware i el software també es tindran en compte a la Taula 8:

| Producte                       | Preu (€/mes) | Cost (€)    |
|--------------------------------|--------------|-------------|
| Connexió a la xarxa (Internet) | 40           | 200         |
| Llum                           | 135          | 675         |
| Aigua                          | 85           | 425         |
| Gas                            | 100          | 500         |
| Transport                      | 42           | 210         |
| Amortització del hardware      | 15,4         | 104         |
| Amortització del software      | 0            | 0           |
| <b>Total</b>                   | <b>417,4</b> | <b>2114</b> |

Taula 8: Costos indirectes

#### 6.5. Contingències

Per atenuar errors en el pressupost, s'afegirà una partida més al càlcul d'aquest per si sorgeix cap problema mentre es desenvolupa el projecte. Es definirà el valor de la contingència com el 10% del pressupost total, ja que les tasques tenen una granularitat baixa i els recursos utilitzats estan ben detallats.

| Producte          | Cost (€)     | Percentatge (%) | Contingència (€) |
|-------------------|--------------|-----------------|------------------|
| Costos directes   | 11560        | 10              | 1156             |
| Costos indirectes | 2114         | 10              | 211,4            |
| <b>Total</b>      | <b>13674</b> | <b>-</b>        | <b>1367,4</b>    |

Taula 9: Costos de contingència

## 6.6. Imprevistos

A tot projecte poden sorgir contratemps modificant la planificació del mateix. Això significa unes despeses extra que no es contemplaven inicialment. D'aquest mode, es pretén incloure aquests possibles costos en el pressupost, per ajustar-lo encara més a la realitat. Per cada una de les possibles desviacions, el cost addicional afegit serà un percentatge del cost inicial, sent el percentatge més alt com més probabilitat existeix de que passi.

| Desviació                     | Preu (€)   | Probabilitat (%) | Cost (€)    |
|-------------------------------|------------|------------------|-------------|
| Avaria d'ordinador portàtil   | 300        | 5                | 15          |
| 14 dies extra degut a retards | 448        | 15               | 67,2        |
| <b>Total</b>                  | <b>648</b> | <b>-</b>         | <b>82,2</b> |

Taula 10: Costos d'imprevistos

## 6.7. Control de gestió

Amb l'objectiu de controlar les possibles desviacions que pot sofrir el projecte, s'establiran una sèrie d'indicadors que ens ajudin a avaluar la diferència entre el pressupost calculat i el cost real. Aquest seguiment es durà a terme cada cop que s'acabi una etapa del projecte i ens ajudarà a saber on s'ha produït la desviació, el per què i el seu cost.

Així doncs, en intervals no més grans de 15 dies, es podrà monitoritzar si la nostra previsió econòmica era errònia, i en aquest cas, poder prendre les mesures adequades amb antelació suficient, com augmentar el pressupost disponible, per poder finalitzar el projecte en el termini establert sense contratemps.

Els indicadors que es definiran a la Taula 11 pretenen mesurar la desviació per cada un dels blocs definits als apartats anteriors, on la columna element indica l'indicador per cada unitat del bloc, i la columna total és l'indicador emprat per al bloc en conjunt.

| Bloc                        | Element  | Total   |
|-----------------------------|--|---|
| Costos directes             | (cost estimat – cost real) *<br>consum d'hores reals | cost total estimat en mà d'obra –<br>cost total real en mà d'obra |
| Costos indirectes           | (cost estimat – cost real) *<br>consum real          | cost total estimat –<br>cost total real                           |
| Contingències i imprevistos | cost estimat – cost real                             | cost total estimat – cost total real                              |
| <b>Pressupost total</b>     | <b>-</b>   | <b>cost total estimat – cost total real</b>                       |

Taula 11: Indicadors de control de gestió

## 6.8. Revisió de costos

Arran dels canvis produïts en la planificació, descrits a l'apartat 5.7, el pressupost del projecte s'ha vist desviat. L'objectiu d'aquest apartat és actualitzar els imports destinats, tant humans

com materials, que han sigut notablement alterats degut a la dilatació temporal de 3 mesos que ha afectat al projecte.

Els aspectes que es tindran en compte són els costos directes, atribuïts als recursos humans, els de hardware i els indirectes.

### Revisió de costos directes

En aquest apartat es calcula el pressupost real dedicat a la mà d'obra. La distribució de rols no s'ha vist modificada, però com es dediquen un total de 75 hores addicionals, la nòmina que perceben els integrants és diferent, tal i com s'exposa a la Taula 12.

| Tasca/activitat  | Hores      | Rol             | Sou (€/h) | Cost (€)     |
|--|------------|-----------------|-----------|--------------|
| 1.1. Recerca d'informació i aprenentatge                       | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 1.2.1 Abast i contextualització                                | 20         | Cap de projecte | 30        | 600          |
| 1.2.2 Planificació temporal                                    | 10         | Cap de projecte | 30        | 300          |
| 1.2.3 Pressupost i sostenibilitat                              | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 1.2.4 Plec de condicions                                       | 10         | Cap de projecte | 30        | 300          |
| 2.1. Definició de les funcionalitats                           | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 2.2 Recerca de connexions entre CloudSim i OptaPlanner         | 20         | Dissenyador     | 23        | 460          |
| 2.3. Disseny de la integració                                  | 35         | Dissenyador     | 23        | 805          |
| 3.1. Implementació dels centres de dades i hosts               | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.2. Implementació de les màquines virtuals                    | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.2. Implementació de les tasques                              | 25         | Desenvolupador  | 23        | 575          |
| 3.4. Implementació de les polítiques de distribució de càrrega | 60         | Desenvolupador  | 23        | 1380         |
| 3.5. Interconnexió entre els components                        | 65         | Desenvolupador  | 23        | 1495         |
| 3.6. Flux de treball   | 35         | Desenvolupador  | 23        | 805          |
| 4. Realització de tests  | 30         | Testejador      | 10        | 300          |
| 5. Realització dels experiments                                | 40         | Cap de projecte | 30        | 1200         |
| 6.1. Redacció de la memòria                                    | 60         | Cap de projecte | 30        | 1800         |
| 6.2. Preparació de la defensa                                  | 15         | Cap de projecte | 30        | 450          |
| 7. Control del projecte  | 20         | Cap de projecte | 30        | 600          |
| <b>Total</b>   | <b>540</b> | <b>-</b>        | <b>-</b>  | <b>13570</b> |

Taula 12: Costos directes reals

I la subseqüent descomposició segons el rol:

| Rol             | Hores      | Sou (€/h)    | Cost (€)     |
|-----------------|------------|--------------|--------------|
| Cap de projecte | 220        | 30           | 6600         |
| Dissenyador     | 55         | 23           | 1265         |
| Desenvolupador  | 235        | 23           | 5405         |
| Testejador      | 30         | 10           | 300          |
| <b>Total</b>    | <b>540</b> | <b>25,13</b> | <b>13570</b> |

Taula 13: Cost per rol real

### Revisió de costos de hardware

Al incrementar el període de duració del projecte, que ha passat de 5 mesos a 8, l'import de les amortitzacions ha variat:

| Producte           | Preu (€)   | Unitats  | Vida útil (anys) | Amortització (€) |
|--------------------|------------|----------|------------------|------------------|
| Ordinador portàtil | 665        | 1        | 4                | 111              |
| Monitor de 23"     | 129        | 1        | 5                | 17               |
| Teclat mecànic     | 49         | 1        | 5                | 7                |
| Ratolí Logitech    | 29         | 1        | 3                | 6                |
| Impressora EPSON   | 79         | 1        | 2                | 26               |
| Paper DIN A4       | 1          | 100      | -                | -                |
| Tinta impressora   | 59         | 2        | -                | -                |
| <b>Total</b>       | <b>951</b> | <b>-</b> | <b>-</b>         | <b>167</b>       |

Taula 14: Cost per hardware real

### Revisió de costos indirectes

En la mateixa línia que l'apartat anterior, l'augment de la durada del treball en 3 mesos significa apujar els costos indirectes de la següent forma:

| Producte                       | Preu (€/mes)  | Cost (€)    |
|--------------------------------|---------------|-------------|
| Connexió a la xarxa (Internet) | 40            | 320         |
| Llum                           | 135           | 1080        |
| Aigua                          | 85            | 680         |
| Gas                            | 100           | 800         |
| Transport                      | 42            | 360         |
| Amortització del hardware      | 20,86         | 167         |
| Amortització del software      | 0             | 0           |
| <b>Total</b>                   | <b>425,86</b> | <b>3407</b> |

Taula 15: Cost indirectes reals

## Revisió de contingències

Com s'han vist alterats els costos directes i indirectes, les contingències també es veuen afectades:

| Producte          | Cost (€)     | Percentatge (%) | Contingència (€) |
|-------------------|--------------|-----------------|------------------|
| Costos directes   | 13570        | 10              | 1357             |
| Costos indirectes | 3407         | 10              | 340,7            |
| <b>Total</b>      | <b>16977</b> | <b>-</b>        | <b>1697,7</b>    |

Taula 16: Contingències actualitzades

## 6.9. Resum de costos

Tenint en compte tots els càlculs fets prèviament, podem calcular el pressupost final del projecte. A la Taula 17, es fa constància del pressupost calculat en les diferents etapes del projecte, l'inici i el final. A més, s'afegeix una fila addicional, anomenada diferència, que calcula els indicadors de gestió definits a l'apartat 6.7.

| Etapa      | Costos directes | Costos indirectes | Contingències | Imprevistos | Total       |
|------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|
| Inicial    | 11.560,00 €     | 2.114,00 €        | 1.367,40 €    | 82,20 €     | 15.123,60 € |
| Final      | 13.570,00 €     | 3.407,00 €        | 1.697,07 €    | 82,20 €     | 18.756,27 € |
| Diferència | -2.010,00 €     | -1.293,00 €       | -329,67 €     | 0,00 €      | -3.632,67 € |

Taula 17: Resum de costos

Com es pot apreciar, el cost real ha superat el pressupost calculat inicialment, ocasionat principalment per l'ampliació del interval de temps del projecte final de carrera. D'aquesta manera, l'import econòmic final que s'ha destinat a la elaboració del treball ascendeix a **18.756,26 €**.

## 7. Arquitectura de les tecnologies

A la introducció de la memòria s'han presentat les dues tecnologies que s'utilitzaran per dur a terme el treball. En aquest apartat, es pretén mostrar els components que conformen cadascuna, juntament amb el seu funcionament.

### 7.1. CloudSim

CloudSim és un entorn de treball, dissenyat amb la intenció d'oferir a l'usuari un espai on dur a terme les seves simulacions, modelar-les al seu gust i experimentar amb les estructures del cloud computing. Així doncs, s'utilitza com a infraestructura virtual on desplegar els elements que entren en joc en un servei allotjat al núvol. A continuació, es mostra el diagrama de classes propi de CloudSim, a partir del qual s'explicaran els seus components i com s'executa una simulació:

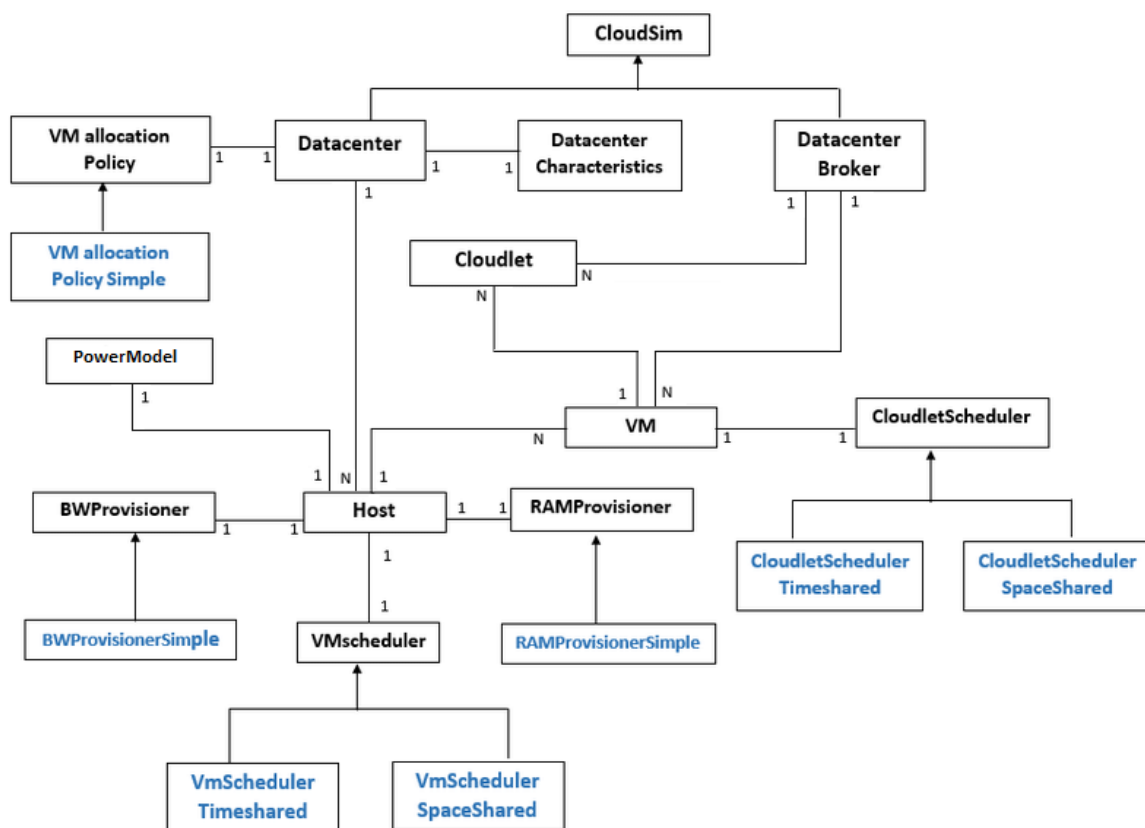


Figura 4: Diagrama de classes de CloudSim

En aquest esquema, existeixen tres elements importants sobre els que giren tota la simulació, i amb els quals es pot establir un paral·lelisme amb la realitat. És el cas dels hosts o computadors, les VM o màquines virtuals i els cloudlets o tasques a executar. Cadascun d'aquests elements tenen una sèrie de propietats. En el cas dels hosts, tenen uns atributs definits, com la capacitat



de processament, que es calcula amb MIPS<sup>7</sup> o la memòria RAM<sup>8</sup>. Si baixem un nivell, ens trobem amb les màquines virtuals, que s'allotjaren als hosts, i que disposen de propietats similars com la CPU que necessiten o la RAM, entre d'altres. Per últim, tenim els cloudlets, que són els processos que s'han d'executar durant la simulació a les màquines virtuals creades i de nou, també tenen atributs parametrizables com la RAM necessària i la longitud del problema en nombre d'instruccions. Els atributs que comparteixen són la capacitat de processament que tenen o necessiten, la memòria RAM, l'ample de banda i la capacitat d'emmagatzematge. La relació que s'estableix entre ells es mostra a la Figura 5:

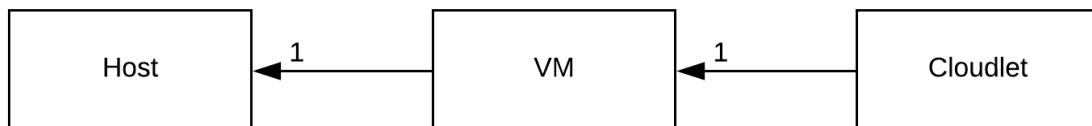


Figura 5: Elements fonamentals de la simulació

A més, els dos nivells més elevats tenen classes per definir el comportament del seu nivell inferior immediat. És a dir, el host, mitjançant el que diu el *VMScheduler* associat a ell, defineix com s'executaran les seves màquines virtuals. Anàlogament, això també passarà amb les màquines virtuals, que a través del seu *CloudletScheduler*, dictaminarà com s'han d'executar els seus processos. Addicionalment, els hosts tenen un model d'energia *PowerModel*, per establir com la simulació tractarà el consum d'energia de cada host.

A banda d'aquestes estructures, també s'han de definir les classes que contindran aquests elements. El *DatacenterBroker* és el punt de connexió del sistema amb l'usuari. L'usuari li comunicarà el llistat de màquines virtuals i cloudlets completament parametrizats per ell que vol que la simulació tingui en compte. Per altra costat tenim el *Datacenter*, on s'establirà la llista de hosts, també configurada per l'usuari. Al *Datacenter* també s'especifica el cost que comporta la utilització de cada recurs, com la RAM, mitjançant la classe *DatacenterCharacteristics*. Per últim, la propietat *VM Allocation Policy* indica al sistema quina és la metodologia a seguir per allotjar les màquines virtuals als hosts disponibles.

Un cop tenim totes les estructures definides al gust de l'usuari, es crea un objecte *CloudSim*, que és la entitat que orquestra la simulació. Aquesta entitat conté tant el *Datacenter* com el *DatacenterBroker*, i a través d'un rellotge intern que ell mateix controla, possa en marxa la simulació quan l'usuari li comunica i fa que els seus components s'intercanviïn informació entre ells. Aquesta comunicació és possible referenciant quin és el destinatari i el tipus de missatge que s'envia, definits a *CloudSimTags*. Finalment, quan no queden tasques per executar, la simulació arriba a la seva fi i es presenten els resultats a l'usuari.

<sup>7</sup>Milió d'Instruccions Per Segon

<sup>8</sup>Memòria d'Accés Aleatori

## 7.2. OptaPlanner

OptaPlanner, a diferència de CloudSim, és un motor que troba solucions per a un problema determinat, tot satisfent una sèrie de restriccions i condicions establertes prèviament per l'usuari. Aquesta solució s'assoleix gràcies a les heurístiques que implementa, que es poden escollir a disposició de l'usuari.

Per funcionar correctament, el motor requereix que l'usuari hagi establert correctament quins són els elements que conformen el problema. A partir de la Figura 6 s'explicarà el funcionament del sistema.

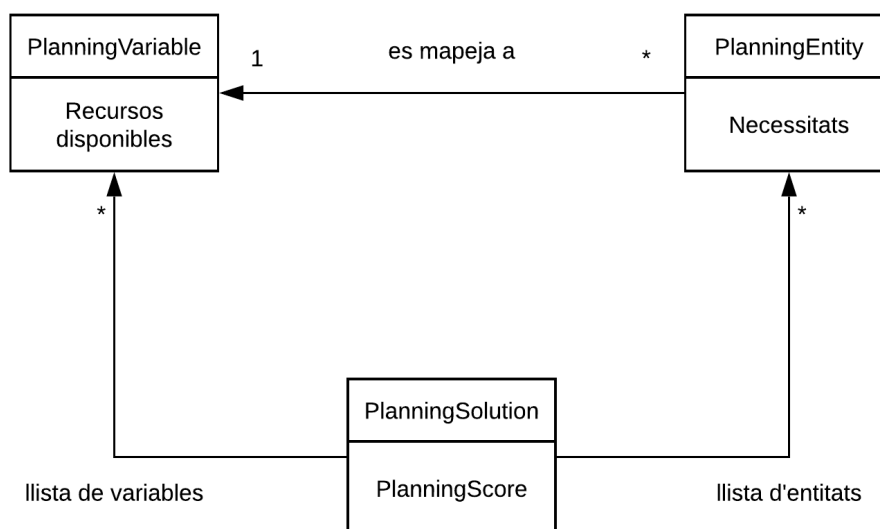


Figura 6: Esquema del funcionament d'OptaPlanner

En primer lloc tenim la *PlanningEntity*, que és l'element que es vol mapejar a una *PlanningVariable* en concret. Per fer això, té una sèrie d'atributs directament relacionats amb la *PlanningVariable*. Per exemple, pot contenir un atribut que sigui el número d'espais buits que ocupa, i intentarà trobar una variable amb el suficient número d'espais buits, per poder ser mapejada a ella. D'això s'encarrega la *PlanningSolution*, que conté el llistat d'entitats i variables de les que disposa. El conjunt d'aquests tres elements s'anomena domini. Posteriorment, les heurístiques escollides per l'usuari, iteren i calculen diferents solucions del domini, a les quals atorga una puntuació i l'emmagatzema a la *PlanningSolution*. La solució que tingui la puntuació més alta serà la òptima.

Per calcular la puntuació d'una solució, s'ha de definir una funció de puntuació. Aquesta funció l'especifica l'usuari i en ella es programen les restriccions i condicions que ha de complir la solució. Agafant com exemple el cas anterior, l'usuari pot definir que el conjunt d'entitats que s'assignen a una variable no superin el 80% de la capacitat d'aquesta, i en cas contrari, com s'estaria violant la restricció, la puntuació seria pitjor. Per tant, la millor solució i la que donaria el programa com a resultat seria una on la capacitat de totes les seves variables no supera el 80%.

Un cop s'ha definit el domini i la funció de puntuació, s'utilitzen com a configuració del *Solver*<sup>9</sup>, que utilitzant les heurístiques que té disponibles, arriba a una solució òptima, seguint el següent esquema:

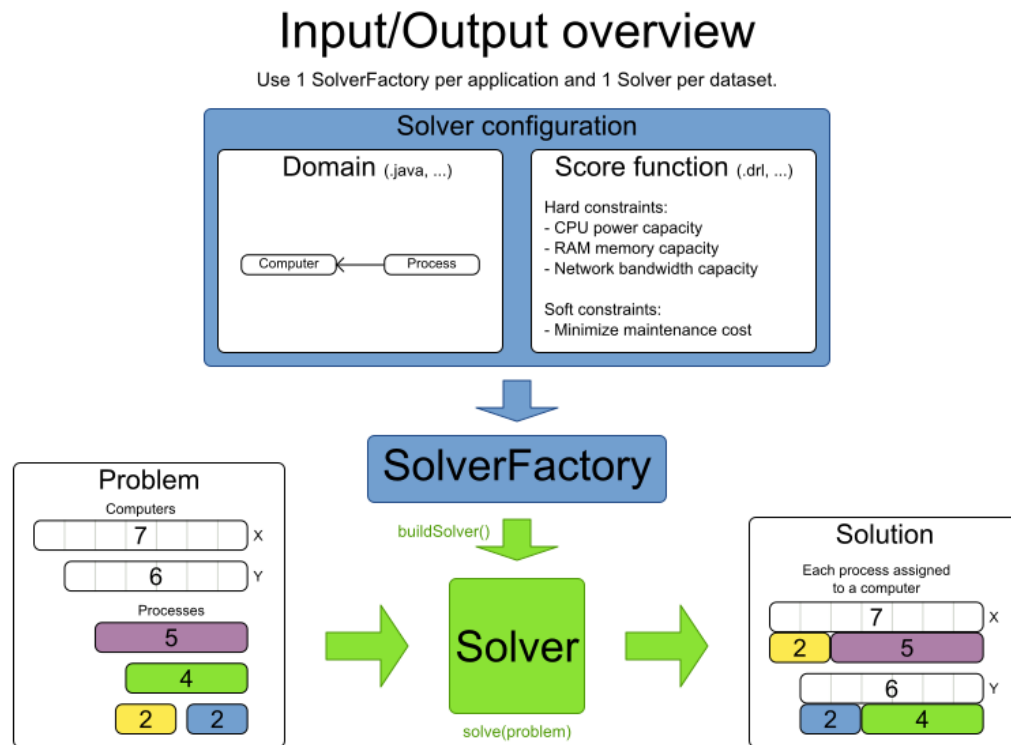


Figura 7: Esquema del funcionament d'OptaPlanner

Així doncs, el client especifica el problema que vol resoldre, i tenint en compte la configuració del *Solver*, trobarà una solució, basant-se en la heurística que ha escollit l'usuari. Aquestes heurístiques es poden descompondre en dos nivells:

- Heurístiques constructives: s'utilitzen per construir una solució inicial.
- Meta-heurístiques: a partir de la construcció inicial, iteren en direcció d'una solució amb millor puntuació que l'anterior.

L'usuari estableix quines utilitzar i durant quant temps. Segons més temps disposi el *Solver*, millor serà la solució. Algunes de les heurístiques disponibles són, en el cas de constructives, *first fit*, *cheapest insertion* o *weakest fit*. Per altra banda, un conjunt de les meta-heurístiques a disposició de l'usuari són *tabu search*, *hill climbing* o *late acceptance* [12].

En definitiva, segons la mida del problema, el domini, el temps que atorguem al solucionador i les heurístiques obtindrem una solució o una altra que OptaPlanner s'encarregarà d'obtenir

<sup>9</sup>Solucionador. Part d'OptaPlanner que utilitzant les heurístiques troba una solució òptima per al problema.

satisfent les restriccions indicades.

## 8. Desenvolupament i implementació

Durant el progrés del projecte, s'han anat efectuant un seguit de modificacions en el codi. L'objectiu d'aquestes implementacions ha sigut millorar el producte. S'han afegit noves funcionalitats per donar més possibilitats al client, altres han sigut modificades per millorar el resultat i les mètriques obtingudes, però sobretot s'han dut a terme accions amb l'objectiu d'integrar aquestes dues tecnologies en una.

Totes les implementacions, escrites en Java, estan accessibles al repositori de [GitHub](#).

### 8.1. Funcionalitats

Tal i com s'ha introduït, aquestes alteracions i implementacions noves del codi tenen l'objectiu de variar el comportament de les tecnologies, afegir noves possibilitats i poder utilitzar-les conjuntament. El resum de les funcionalitats que es volen assolir amb les transformacions realitzades són:

- Integració d'OptaPlanner en CloudSim
- Mapeig de les màquines virtuals als hosts mitjançant el motor d'OptaPlanner.
- Mapeig de les tasques a les màquines virtuals mitjançant el motor d'OptaPlanner.
- Resultats o mètriques més extenses, gràcies a l'addició d'historials.
- Migració dels processos sense perdre el progrés realitzat a la màquina anterior prèvia.
- Més control de l'usuari. Se li ofereix la capacitat de personalitzar la simulació i se li atorga eines per controlar-la.
- Integració del model de potència en totes les simulacions, en ordre de tenir en consciència aquest factor en tot moment.

A continuació, es descriuen quins han sigut els canvis executats per arribar a la implementació final del projecte. Es descompondrà en les parts que afecten només a CloudSim, les implementacions d'OptaPlanner i els canvis realitzats per a la integració.

### 8.2. CloudSim

A la part de CloudSim s'han efectuat canvis en els seus components i elements, concretament a les classes. Per cada classe modificada, es comentarà què ha sigut modificat o introduït i la seva finalitat. L'ordre que es seguirà és començar des del nivell més baix, com poden ser les tasques i les màquines virtuals, fins arribar a classes que organitzen i controlen aquests elements.

## Cloudlet

La classe *Cloudlet* representa una tasca que ha de ser executada durant el transcurs de la simulació. La següent llista mostra els canvis efectuats en la implementació:

- Historial de màquines virtuals on s'ha executat: ens permetrà disposar de més informació a les mètriques resultants.
- Variable que indica si la tasca està en migració: facilitarà el procés de migració d'una tasca.
- Addició de la màquina virtual que l'executa com a atribut: necessari per a la integració amb OptaPlanner.

## CloudletScheduler

En concret, es modifica la classe *CloudletSchedulerTimeShared*, que és una extensió de *CloudletScheduler*, declarada com classe abstracta. S'encarrega de controlar les tasques que executa una màquina virtual i en concret, s'implementa:

- Mètode que pausa totes les tasques executant-se i les posa en estat de migració: quan una màquina virtual ha de migrar, guardarà l'estat actual de tots els seus processos, per a que resumeixin la seva execució al punt on estaven a la nova màquina virtual.

---

### Algorisme 1 Migració de Cloudlets

---

**Result:** Llista de Cloudlets a migrar

```
cloudletsAMigrar = [];
while llistaCloudletsEnExecucio no és buida do
  Cloudlet c = llistaCloudletsEnExecucio.agafar(0);
  c.setMigrant(true);
  cloudletsAMigrar.afegir(c);
  c.pausar;
  llistaCloudletsEnExecucio.eliminar(c);
end
```

---

## Vm

L'objecte *Vm* referencia a una màquina virtual en concret. Si és possible s'allotja a un únic Host i s'encarrega de gestionar els seus processos. S'enllisten els canvis:

- Variable que indica si la màquina virtual ha estat creada recentment: es tindrà en compte a l'hora de buscar hosts per a les màquines virtuals.
- Llistat de hosts als quals ha estat allotjada: ens permetrà disposar de més informació a les mètriques resultants.

- Llistat de potència consumida: per calcular la potència final consumida, ja que és possible que una màquina virtual consumeixi diferent potència a hosts diferents.

## Host

El *Host* és l'element encarregat de simular una màquina física, que allotjarà màquines virtuals, que a la seva vegada executen tasques. Les modificacions proposades són:

- Variable que indica el total d'emmagatzematge del host: abans existia només una variable indicant l'emmagatzematge disponible restant.
- Model de potència: s'afegeix com a atribut un objecte *PowerModel*, que definirà com consumeix la energia els recursos que utilitza el *Host*. En concret es fa servir el model lineal, que determina que un *Host* sense utilització entra en *sleep mode*<sup>10</sup>. En canvi, pel fet d'estar en utilització, consumeix una energia fixa, esmentada estàtica i va augmentant la potència total segons més recursos s'emprin. A més, s'implementa una funció per conèixer quanta energia gasta una *Vm* concreta al *Host*.
- Funcions per obtenir dades de la capacitat de processament: obtenir el percentatge d'utilització del conjunt de processadors del *Host* i els MIPS acaparats per totes les *Vm* allotjades.
- Historial dels recursos utilitzats en cada instant: cada cop que les màquines virtuals migren canvien la utilització dels recursos dels hosts. Per tenir tota la informació disponible posteriorment, es guarden en llistes els detalls.
- Modificació de la funció que allotja una *Vm* al *Host*: en cas de resultat positiu, actualitza l'historial de les màquines virtuals.

## CloudSimTags

Per a poder fer efectiva la comunicació entre els diferents elements que componen CloudSim, es necessita saber identificar quin és el missatge que s'està transmetent. *CloudSimTags* és una classe no instanciable que s'encarrega de definir els diferents tipus de missatge existents, associant un número identificador a una cadena de caràcters. Per poder afegir noves funcionalitats al sistema, s'han hagut d'afegir els següents tipus de missatge:

- *MIGRATE\_VM\_ACK*<sup>11</sup>: permet migrar una màquina virtual en concret.
- *DEALLOCATE\_VM\_ACK*: permet desallotjar una màquina virtual específica.
- *DELAYED\_RESOURCES*: indica al sistema que arriben nous recursos, ja siguin màquines virtuals i/o tasques.

<sup>10</sup>Mode en el qual el consum d'energia de la màquina física és zero.

<sup>11</sup>ACK: l'emissor del missatge espera una resposta, informant del resultat de la operació.

- *PAUSE\_VMCLLOUDLETS*: detenir la execució dels processos d'una màquina virtual i guardar el seu estat actual.

## Datacenter

El *Datacenter* és l'entitat de la simulació encarregada d'acollir tots els hosts. Controla l'allotjament, destrucció i migració de les màquines virtuals a aquests i l'execució de les tasques. Els canvis portats a terme són:

- Llista de processos en migració: per disposar en tot moment informació dels cloudlets que estan migrant d'una màquina virtual a una altre.
- Modificació de la funció *processVmCreate*: permet fer la integració amb OptaPlanner. Distingeix si s'utilitza el motor OptaPlanner o CloudSim, i en el primer cas, crida a una funció diferent per obtenir les màquines virtuals correctament allotjades a un host per inicialitzar-les.
- Creació de la funció *stopVmCloudlets*: associat al tag<sup>12</sup> descrit prèviament *PAUSE\_VMCLLOUDLETS*. Quan detecta que una màquina virtual es mou d'un host a un altre, el *Datacenter* envia l'ordre de guardar l'estat actual de tots els seus cloudlets, per resumir-los posteriorment a la nova màquina virtual.
- Creació de la funció *migrateVm*: intenta allotjar una màquina virtual al host especificat. En cas de que la màquina virtual estigués allotjada, la desallotja i intenta allotjar-la al nou host. En cas negatiu, la torna a allotjar a l'anterior host.
- Modificació de la funció *processCloudletSubmit*: actualitzar l'historial dels cloudlets amb les màquines virtuals on s'ha executat. Un cop s'ha executat tot correctament, es marca que el cloudlet ja no està en procés de migració, i s'elimina de la llista mencionada al primer punt.

## DatacenterBroker

Aquesta entitat estableix un contacte bidireccional amb l'usuari. A través d'ella l'usuari indica les operacions que vol efectuar, com afegir, migrar o destruir màquines virtuals, nous processos o obtenir els resultats de la execució. També es defineix a través del *DatacenterBroker* el tractament dels nous recursos que arriben al sistema. Es fan les següents implementacions:

- S'afegeix una variable booleana *redistribute*: quan arriben noves màquines virtuals al sistema, indica si s'han de desallotjar les que ja s'havien mapejat a un host per tornar a allotjar el conjunt sencer. Només es té en compte quan s'executa la simulació amb el motor d'OptaPlanner.
- Nova variable booleana *redistribute\_level*: estrictament relacionada amb la variable *redis-*

---

<sup>12</sup>Etiqueta associada al tipus de missatge enviat.



*tribute*. Només s'aplica quan *redistribute* pren el valor de cert i indica quant d'estricta és. Determina si s'han de desallotjar les màquines virtuals ja allotjades i tornar-les a allotjar. En cas que la variable prengui fals com a valor, les màquines virtuals allotjades a un host es deixen com estan, i s'intentarà allotjar només les noves i les antigues que no han pogut ser allotjades.

- Modificació de la funció *createVmsInDatacenter*: si s'utilitza el motor d'OptaPlanner, es passa una sola llista amb el conjunt de màquines virtuals a crear per a que ho gestioni el *Datacenter*.
- Modificació de la funció *submitCloudlets*: si s'ha especificat que s'utilitza el motor OptaPlanner, executarà unes línies de codi diferent, encarregades de trobar la màquina virtual per al procés, per posteriorment demanar al *Datacenter* que comenci la execució del cloudlet en qüestió, tal i com indica el següent algorisme:

---

#### Algorisme 2 Mapeig de cloudlets i enviament al Datacenter

---

```
trobaVMsPerACadaCloudlet();
foreach Cloudlet in CloudletList do
    if CloudletTeVMAssignada() then
        enviarAlDatacenter(executaCloudlet, Cloudlet);
end
```

---

- Creació de la funció *migrateVM*: l'usuari pot demanar al sistema que migri o crei una màquina virtual a un host si és possible. El missatge enviat al *Datacenter* empra l'etiqueta definida com *MIGRATE\_VM\_ACK*.
- Creació de la funció *migrateVMResult*: gestiona el resultat que ha retornat el *Datacenter* i actualitza les estructures necessàries en cas de resposta positiva.
- Creació de la funció *deallocateVM*: desallotja una màquina virtual del seu host. Si no estava allotjada, no realitza cap acció. Utilitza el missatge *DEALLOCATE\_VM\_ACK* per informar de l'operació al *Datacenter*.

#### DatacenterBrokerDelay

Amb la finalitat d'oferir més alternatives, s'ha creat una classe *DatacenterBrokerDelay*. Aquesta nova classe permet a l'usuari introduir nous recursos a la simulació en temps d'execució. És a dir, mentre s'estan calculant els resultats, poden entrar noves màquines virtuals i cloudlets en diferents instants de temps, alterant el resultat final de l'execució. Existeixen dues modalitats diferents per a que s'incloguin nous recursos al sistema, que es poden repetir els cops que es desitgi:

- Mètode 1: en un cert instant de temps. Es fa el càlcul a través del rellotge intern de CloudSim. Es programen els esdeveniments abans de començar la simulació per als instants desitjats, i quan arribi el moment s'inclouen les noves màquines virtuals i/o cloudlets especificats per l'usuari.

- Mètode 2: quan quedi certa quantitat de processos per finalitzar. S'actualitza un comptador que calcula el nombre de cloudlets finalitzats. Cada cop que finalitza l'execució d'una tasca s'incrementa el comptador i quan coincideixi amb l'establert per l'usuari, entraran nous recursos al sistema.

Aquestes són les modificacions realitzades per aconseguir-ho:

- Variable booleana *delayedSubmit*: indica al sistema que poden arribar noves màquines virtuals i/o cloudlets durant l'execució.
- Llistes que indiquen els instants de temps o el nombre de processos finalitzats requerits per a incloure nous recursos a la simulació: en els instants especificats es programa l'enviament del missatge *DELAYED\_RESOURCES*.
- Llistes que inclouen les màquines virtuals i/o cloudlets que entraran un cop començada l'execució: quan saltin els esdeveniments programats per l'anterior punt s'inclouran al sistema. S'intentarà allotjar les màquines virtuals als hosts disponibles, i els cloudlets a les màquines virtuals que estiguin en línia.
- Modificació de la funció *createVmsInDatacenter*: si s'utilitza el motor d'OptaPlanner, executa un codi diferent mostrat a continuació, que s'encarrega de passar-li al *Datacenter* les màquines virtuals per a les quals s'ha de trobar host, tot tenint en compte els valors de *redistribute* i *redistribute\_level*.

---

### Algorisme 3 Enviament de VMs a allotjar al Datacenter

---

```

llistaVMaEnviar = [];
if redistribute and redistribute_level then
    | desallotjarTotesLesVMs();
foreach VM in VMList do
    | if redistribute then
    |     | if VM no està allotjada then
    |         | llistaVMaEnviar.afegir(VM);
    |     else
    |         | if VM no està allotjada and VM.esNova() then
    |             | llistaVMaEnviar.afegir(VM);
    |             | VM.establirNova(fals);
    |     end
end
enviarAlDatacenter(creaVMs, llistaVMaEnviar);

```

---

- Creació de la funció *processDelayedResources*: s'encarrega de fer coneixedor al sistema de la existència de noves màquines virtuals i cloudlets a tractar.

---

**Algorisme 4** Addició de noves màquines virtuals i/o cloudlets al sistema en temps d'execució

---

```
llistaVM.afegir(novesVM);  
llistaCloudlets.afegir(nousCloudlets);  
if novesVM.mida() > 0 then  
| createVmsInDatacenter(datacenter);  
else  
| submitCloudlets();  
end
```

---

- Modificació de la funció *processCloudletReturn*: en ordre de poder llençar noves màquines virtuals i/o processos quan ha finalitzat cert nombre de tasques seguint el segon mètode, es modifica la funció que s'executa quan un cloudlet termina de processar-se. Concretament, s'afegeix una comprovació per identificar si el nombre de cloudlets executats correspon amb el nombre de cloudlets requerits per afegir nous recursos al sistema. Si es dona el cas, es crida a la funció *processDelayedResources*.
- Modificació de la funció *startEntity*: rutina que s'executa al iniciar la simulació. Es modifica per programar els instants de rellotge on entraran nous recursos, en cas que s'utilitzi el primer mètode.
- Creació de la funció *getVMResult*: mètode a utilitzar per l'usuari en quant hagi finalitzat la simulació. Retorna la execució de totes les màquines virtuals que s'han afegit al sistema i totes les seves mètriques.

### 8.3. OptaPlanner

No s'ha produït cap canvi en la implementació d'OptaPlanner. S'han empleat els recursos ja existents que proporciona el motor per realitzar la integració dels dos sistemes en un, tal i com s'explica al següent apartat.

### 8.4. Integració d'OptaPlanner en CloudSim

El correcte funcionament entre les dues tecnologies, CloudSim i OptaPlanner, requereix de la creació de noves classes que determinen el domini del problema, com es computa la puntuació de la solució i la configuració, tal i com s'ha parlat a 7.2. A més, també necessita de modificacions addicionals sobre el codi de CloudSim per acabar de definir el domini i poder utilitzar el motor d'OptaPlanner en els moments adequats, el mapeig de cloudlets a màquines virtuals, i de màquines virtuals a hosts. A més, es crea un programa principal, des del qual l'usuari podrà parametritzar els components de la simulació al seu gust.

Com s'han de definir dos dominis diferents, per aclarir, quan sigui necessari es mencionarà a quin domini de dades pertany cada modificació:

- Domini 1: Assignació de les VMs a els hosts.

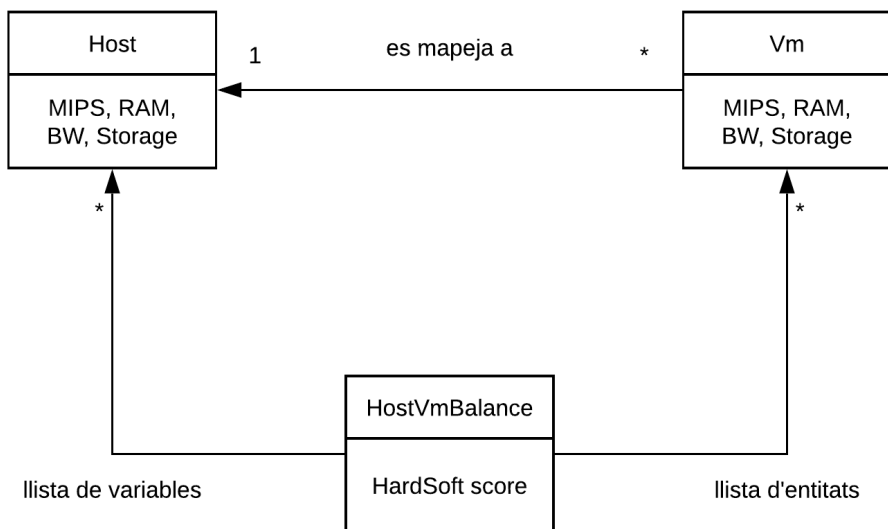


Figura 8: Domini 1: Mapeig de màquines virtuals a hosts

■ Domini 2: Assignació dels cloudlets a les VMs.

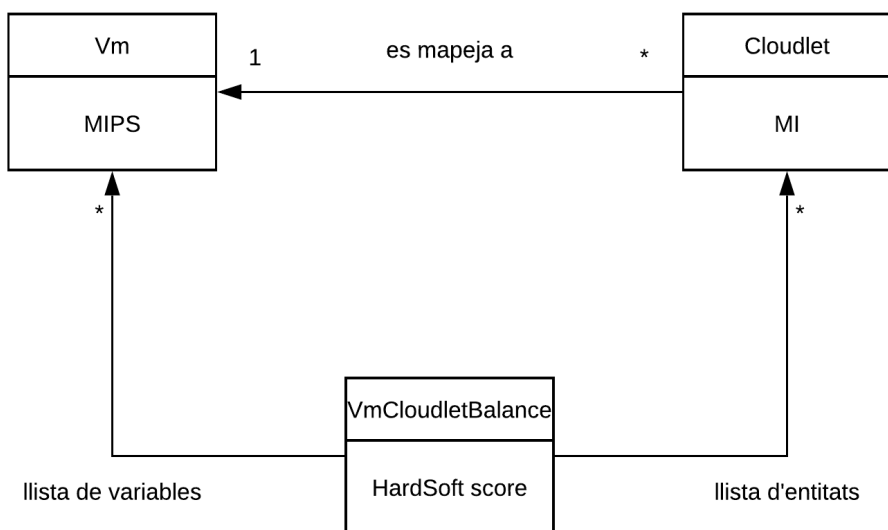


Figura 9: Domini 2: Mapeig de cloudlets a màquines virtuals

Tal i com s'ha fet anteriorment, s'esmenta classe per classe les variacions efectuades:

## CloudSim

La classe *CloudSim* és l'entitat principal de la simulació. Disposa d'un rellotge intern per gestionar tots els missatges que s'envien entre els seus components i seguir un ordre, a més de programar esdeveniments com l'arribada de recursos nous al sistema. En concret, s'afegeix una nova variable:

- Variable booleana *opta*: Indica si s'utilitza el motor OptaPlanner per a la resolució del mapeig màquina virtual a host i cloudlet a màquina virtual, o el ja establert per CloudSim.

## VmDifficultyComparatorClass

Aquesta classe ha sigut creada per poder comparar dos objectes *Vm*. Un objecte *Vm* serà més gran que un altre si necessita més recursos. És a dir, serà més gran si consumeix més MIPS, i en cas d'empat, la que ocupi més espai, i així successivament amb la RAM i l'ample de banda. En cas d'empat total l'ordre el determina l'identificador de la màquina virtual. És necessària per poder fer servir algunes de les heurístiques constructives que implementa OptaPlanner, com és el cas de *first fit decreasing*, on s'intenten mapejar primer els objectes més grans, que són més difícils d'assignar.

## CloudletDifficultyComparatorClass

Nova classe anàloga a l'apartat anterior. S'utilitza per poder comparar un parell de cloudlets. Els atributs que defineixen l'ordre és la longitud de la tasca en milions d'instruccions i l'identificador de l'objecte.

## Vm

Es torna a realitzar canvis sobre la classe *Vm* per adaptar-lo a OptaPlanner. Els canvis fets afecte al Domini 1:

- Constructor buit: requeriment per a que el *Solver* d'OptaPlanner pugui iterar sobre la solució.
- Identificació de la classe amb l'etiqueta *PlanningEntity*: es deixa constància que és un element que es vol assignar a un objecte, en aquest cas a un host. A més, es fa explícit que la política de comparació és la definida a *VmDifficultyComparatorClass*.
- Es marca la funció que retorna el host com la *PlanningVariable*: és imprescindible marcar que el host és la variable que pot anar canviant mentre el motor troba una solució. S'ha de proveir addicionalment la llista de hosts que poden prendre el valor de la variable.

## Cloudlet

Passa el mateix amb els processos, s'ha de transformar de nou la classe que els representa per poder integrar-lo en el Domini 2 amb el motor d'OptaPlanner:

- Constructor buit: necessari per a la integració amb OptaPlanner.
- S'identifica la classe com a *PlanningEntity*: el *Cloudlet* és l'element que es vol assignar a una VM, el *Solver* determinarà quina és l'òptima. S'utilitza la *CloudletDifficultyComparatorClass* per definir la dificultat d'assignació entre dos processos diferents.
- Es marca com a *PlanningVariable* la funció que retorna la *Vm* assignada: s'identifica com la variable que pot anar canviat el solucionador. També s'ha d'especificar el rang de valors que pot prendre.

## HardSoftScore

Representa la puntuació d'una solució. Com el seu propi nom indica, es compon de dues variables diferents. Això es degut a que s'interpreta a dos nivells. El nivell més important és el *hard*, que són les restriccions que han de complir obligatòriament la solució, com per exemple, que el conjunt de les màquines virtuals assignades a un host no sobrepassin la seva capacitat. Per altra costat, està el nivell *soft*. Quan dues solucions diferents tenen la mateixa puntuació *hard*, la dèbil decidirà quina és la millor. Es pot atribuir a factors com per exemple el cost econòmic. Per comparar dues puntuacions, la solució amb valor *hard* més gran és millor, de forma paral·lela al funcionament amb l'atribut *soft*.

## HostVmBalance

Nova classe que representa la *PlanningSolution* del Domini 1 i és l'encarregada d'agrupar els elements d'aquest. Per aquest motiu, s'identifica la definició de l'objecte amb l'etiqueta corresponent. Conté els següents elements:

- Llista de hosts: hosts on es poden allotjar les màquines virtuals. Es senyala la llista com els possibles valors que pot prendre la *PlanningVariable* del Domini 1.
- Llista de màquines virtuals: els elements que s'intenten allotjar als hosts.
- Puntuació: atribut *HardSoftScore* que determina la puntuació de la solució actual i que s'associa amb l'etiqueta. *PlanningScore*.

## VmCloudletBalance

De forma molt similar al *HostVmBalance*, defineix el Domini 2 i uneix les variables que hi intervenen. Així doncs, també s'ha d'identificar com a *PlanningSolution*. Similarment a l'apartat anterior, la nova classe inclou:

- Llista de màquines virtuals: màquines virtuals on es poden executar els cloudlets. Es senyala la llista com els possibles valors que pot prendre la *PlanningVariable* del Domini 2.
- Llista de tasques: els elements que busquen una màquina virtual on processar-se.
- Puntuació: atribut *HardSoftScore* que determina la puntuació de la solució actual i que s'associa amb l'etiqueta *PlanningScore*.

## ScoreCalculator

Són els encarregats de calcular el valor *HardSoftScore* de la solució actual. Reben com a paràmetre el representant dels dominis per poder fer el càlcul.

En el cas del primer domini, el flux que segueix el programa és:

1. Inicialitza una estructura diferent per a cada recurs, on es relaciona la seva utilització actual abans de trobar la solució i el host.
2. Actualitza aquestes estructures inicialitzades al pas anterior amb els recursos consumits per les màquines virtuals assignades en l'actual solució.
3. Calcula la puntuació *hard* i *soft*, d'acord amb el mètode de càlcul establert al codi.

Pel domini 2, és exactament el mateix procediment, només cal canviar el concepte de host per màquina virtual, i màquina virtual per tasca.

Per al primer domini, s'han definit varies classes que defineixen com calcular la puntuació:

| ScoreCalculator | Hard Score                                       | Soft Score                                      | Objectiu                             |
|-----------------|--|---|--------------------------------------|
| HostVmBinary    | nombre de recursos excedits binari <sup>13</sup> | nombre de hosts utilitzats                      | major distribució                    |
| HostVmMinLost   | nombre de recursos excedits binari               | nombre de recursos excedits total <sup>14</sup> | ocupar el màxim de recursos possible |
| HostVmMinPower  | nombre de recursos excedits binari               | consum d'energia                                | minimitzar el consum energètic       |
| HostVmSimple    | nombre de recursos excedits total                | cost econòmic                                   | minimitzar el cost econòmic          |

Taula 18: ScoreCalculators per al Domini 1

Adicionalment, s'implementa *HostVmCustomScoreCalculator*, on l'usuari escull quines restriccions vol aplicar al model i de quin tipus, *hard* o *soft*. Està relacionat amb un fitxer de configuració de format *.txt*, anomenat *CustomScoreConfig*.

<sup>13</sup>Si s'excedeix un recurs, com a molt s'incrementa en una unitat la puntuació.

<sup>14</sup>Si s'excedeix un recurs, es sumen tantes unitats a la puntuació com quantitat s'ha excedit el recurs.

Per altra banda, en el cas del segon domini, es defineix la classe *VmCloudletSimpleScoreCalculator*, on s'assignaran els cloudlets a les màquines virtuals a les quals es predigui que el temps d'execució serà menor.

### SolverConfiguration

Es defineix un fitxer diferent per a cada domini en el format .xml. Al fitxer, es descriu quina classe representa al domini, les entitats que el componen, quin *ScoreCalculator* dels definits a l'anterior apartat es vol fer servir i s'explicita quines són les heurístiques que es volen fer servir per trobar la solució, juntament amb el temps durant el qual es pot executar.

### VmAllocationPolicyOpta

Aquesta nova classe és una extensió de la classe abstracta *VmAllocationPolicy*. La seva funcionalitat principal és trobar el host on s'allotjarà cada màquina virtual. S'afegeix una nova funció:

- Creació de la funció *allocateHostForVm*: la funció rep com a paràmetre una llista de màquines virtuals, que li passa el *Datacenter* a través de la funció *processVmCreate*, descrita amb anterioritat a 8.2. Aquest procediment construirà un *Solver* a partir d'un fitxer de configuració, que determina el domini, com calcular la puntuació i les heurístiques que s'utilitzaran. Aquest fitxer el farà servir el motor OptaPlanner per saber què resoldre, com i trobar una solució al problema. Quan hagi trobat una solució, es comprovarà el host on s'ha assignat cada màquina virtual, s'actualitzaran les estructures necessàries i es retornarà el resultat al *Datacenter*, indicant les màquines que s'han pogut crear satisfactòriament, tal com mostra el següent algorisme:

---

#### Algorisme 5 Allotjament de màquines virtuals a hosts amb el motor d'OptaPlanner

---

**Result:** VMAllotjades

```
VMAllotjades = [];
Solver s = crearSolver(config_xml_domini1);
HostVmBalance unsolved = crearBalance(hostlist, vmlist);
HostVmBalance solved = s.resol(unsolved);
foreach VM in solved do
    Host h = VM.agafarHostAssignat();
    if h.crearVm(VM) then
        VMAllotjades.afegir(VM);
        actualitzaEstructures();
        actualitzaHistorialHost();
end
```

---

### DatacenterBroker i DatacenterBrokerDelay

Un cop fet el mapeig de les màquines virtuals als hosts, ja existeixen màquines virtuals en línia on poder executar els processos. Així doncs, podem vincular processos per a executar-se a les



màquines virtuals. El procés que es segueix és molt similar, i és possible portar-lo a terme amb la següent transformació:

- Modificació de la funció *submitCloudlets*: a partir d'un fitxer de configuració, creem un objecte *Solver* que ens resoldrà el problema i tans sols haurem de llegir el resultat per actualitzar les estructures adients. L'algorisme canvia lleugerament:

---

**Algorisme 6** Assignació dels cloudlets a les màquines virtuals
 

---

```
Solver s = crearSolver(config_xml_domini2);
VmCloudletBalance unsolved = crearBalance(vmlist, cloudletlist);
VmCloudletBalance solved = s.resol(unsolved);
foreach Cloudlet in solved do
    Vm vm = Cloudlet.agafarVmAssignada();
    if vm != nula then
        enviarAlDatacenter(executaCloudlet, Cloudlet);
        actualitzaEstructures();
end
```

---

### Programa principal

En aquest punt, ja s'ha modificat i escrit tot el codi que calia per estendre i integrar les dues tecnologies. Amb la finalitat de facilitar la usabilitat a l'usuari i de poder fer els experiments més còmodament, s'han desenvolupat uns programes, des dels quals es poden parametritzar tots els aspectes de la simulació, començar-la i obtenir els resultats o mètriques. Més específicament, s'han programat tres programes principals. Cadascun d'ells acumulen les característiques de l'anterior i de noves:

- *main*: es poden fer simulacions amb els recursos inicials establerts per l'usuari. Es pot escollir si utilitzar el motor OptaPlanner o CloudSim.
- *mainDelay*: les simulacions són escalables, és a dir, és poden afegir nous recursos al sistema en temps d'execució.
- *mainDelayPower*: es poden fer execucions utilitzant un altre model d'energia, que es descriurà més endavant als experiments.

## Resultat de la integració

Com a resultat de tots els canvis realitzats per unificar les dues tecnologies, obtenim l'esquema que mostra la Figura 10. El *Solver* serà l'encarregat d'establir les relacions entre hosts, màquines virtuals i cloudlets tenint en compte les heurístiques i el mètode per calcular la puntuació de la solució, definits a la configuració. El *Solver* s'executarà en dos punts diferents de la simulació. El primer cop, per mapejar màquines virtuals a hosts, a través de la funció *allocateHostForVm* que inclou el *VmAllocationPolicyOpta*. Un cop feta aquesta assignació, les màquines virtuals creades satisfactòriament poden executar treball, així que s'executa la funció *submitCloudlets* des del *DatacenterBroker* per enviar tasques a les màquines virtuals.

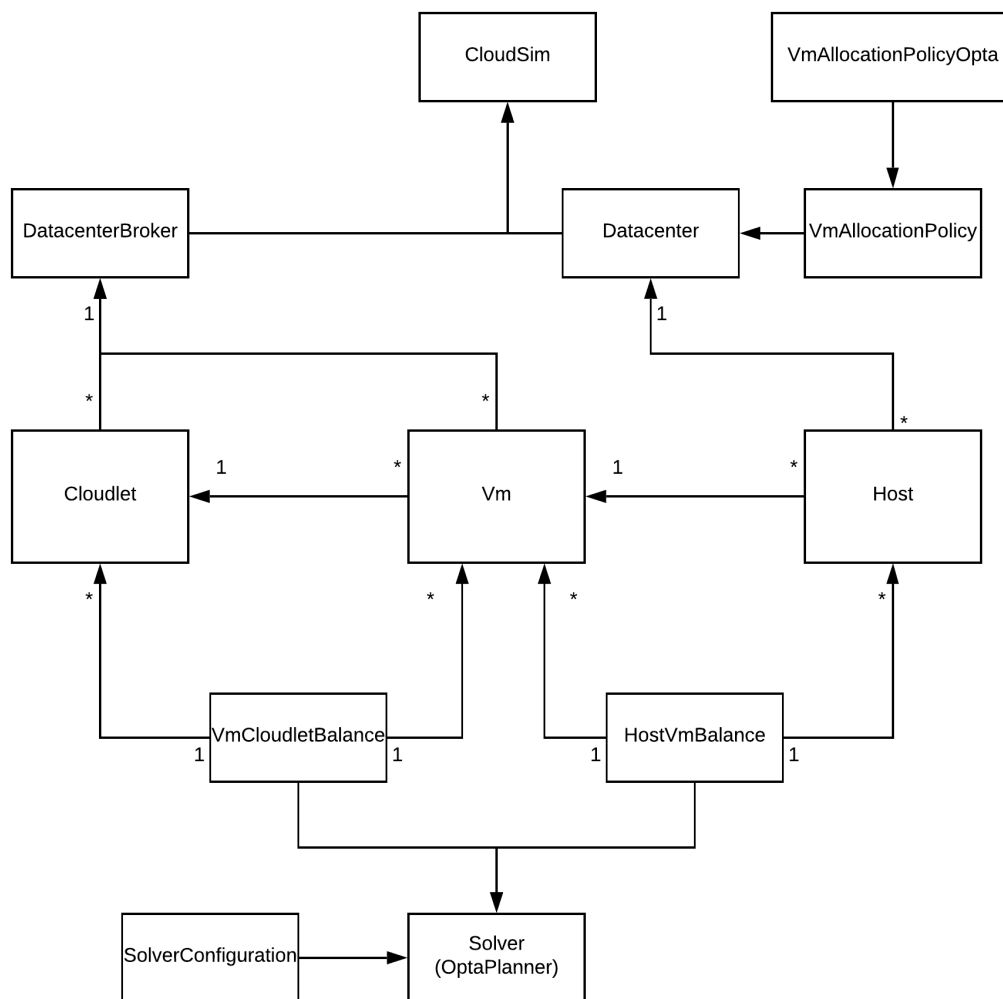


Figura 10: Esquema del funcionament de la integració

## 9. Experiments

La secció dels experiments està orientada a analitzar els resultats obtinguts executant simulacions amb diferents paràmetres configurats pel propi usuari. Per dur a terme aquest anàlisi, en algun dels experiments es compararà la solució que proposa CloudSim amb la generada per la implementació nova. El conjunt d'elements que formaran part de la simulació, és a dir, els hosts, les màquines virtuals i les tasques, es reduiran per poder exposar els experiments amb més claredat i es mostrarà el valor que prenen els seus atributs a la simulació.

Per a cadascun dels experiments reproduïts, es poden trobar els resultats complets de les proves al repositori de [GitHub](#).

### 9.1. Assumpcions

Per al desenvolupament dels experiments s'apliquen, en cas que no s'esmenti el contrari, les afirmacions fetes als següents punts:

- L'energia consumida s'expressa en kWh i es calcula com:

$$\frac{\text{potencia} \times \text{temps}}{3600 \times 1000}$$

- S'utilitzen les classes *VmSchedulerTimeShared* i *CloudletSchedulerTimeShared* per controlar l'execució de les màquines virtuals i els processos, respectivament.
- La simulació es dona en un únic centre de dades.
- Tots els processadors d'un mateix host tenen la mateixa capacitat de processament.
- Quan una màquina virtual s'allotja a un host, aquesta consumeix tots els recursos que acapara, independentment de la càrrega dels processos que tingui assignat.
- El conjunt de hosts que conté un centre de dades un cop comença la simulació és estàtic.
- El temps destinat al càlcul per part de la heurística és de 15 segons pel domini 1 i 5 segons pel domini 2.
- En cas d'arribada de nous recursos al sistema, ja siguin màquines virtuals i/o cloudlets, es tornarà a decidir a quina màquina virtual s'executa cada tasca.
- El mètode per defecte per calcular la puntuació és el definit per la classe *HostVmBinaryScoreCalculator*.
- Les variables *redistribute* i *redistribute\_level* prenen cert com a valor.
- Les heurístiques utilitzades per defecte, per ambdós dominis, són *First Fit Decreasing* com a constructiva i *Tabu Search* com a meta-heurística.

## 9.2. Reproducció dels experiments i interpretació dels resultats

Per fer reproduïbles els experiments i mostrar com s'ha parametritzat cadascun d'ells, es farà servir una taula resum que descriu les següents característiques:

- Element: element de la simulació que s'està configurant.
- Quantitat inicial: quantitat d'un mateix element que estaran disponibles en la simulació des de l'inici.
- Afegits en temps d'execució: quantitat d'elements que s'afegiran mentre l'execució de la simulació està en curs.
- MIPS: Milions d'Instruccions Per Segon o capacitat de computació que té l'element.
- MI: Milions d'Instruccions o nombre d'instruccions que haurà d'executar un procés per completar-se.
- RAM: capacitat de memòria RAM de la que disposa l'element.
- Ample de banda: capacitat d'ample de banda de la que disposa l'element.
- Mida: capacitat d'emmagatzematge de la que disposa l'element o necessita en cas dels cloudlets.

A més, per mostrar la sortida dels experiments en format taula pel posterior anàlisi, s'utilitza la següent nomenclatura a les columnes:

- VM ID: identificador nominal de la màquina virtual.
- Host history: historial dels hosts on ha estat allotjada la màquina virtual.
- Host intervals: instant de rellotge al qual la màquina virtual s'allotja al host.
- Power history: potència consumida per la màquina virtual al host.
- Cloudlets executed: processos que executa la màquina virtual.

Com que poden arribar nous recursos al sistema en temps d'execució, totes les columnes recentment explicades prenen com a valor un vector. Cada posició del vector indica l'estat de la màquina virtual en un interval de temps determinat. Per definir l'interval de temps s'utilitza l'exemple exposat a la Taula 19.

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED |
|-------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| 0     | [0, 1]       | [0.0, 2.0]     | [20.0, 30.0]  | [[0,2,4], [1,3,5]] |

Taula 19: Exemple del resultat de l'execució de les màquines virtuals

La posició 0 del vector dona informació sobre l'estat inicial de la simulació. El que mostra és que la màquina virtual 0 s'està executant al host amb identificador 0 des de l'instant 0 a l'instant

2. A més, executa els cloudlets 0, 2 i 4. Quan arriben nous recursos al sistema és possible que tot es reorganitzi, com passa en aquest exemple. Més detalladament, amb aquesta reorganització, la màquina virtual passa a executar-se al host 1 des de l'instant 2 fins al final de l'execució i està consumint 30 W.

### 9.3. Validació de la implementació

A mesura que s'avançava en el desenvolupament de la implementació, cada canvi que afectés al flux de la simulació es comprovava mitjançant l'execució del programa principal, per observar com afectava a la solució. Així doncs, a cada pas que es donava es realitzava un test per trobar els errors, que si existien es solucionaven al moment. Quan es feia una execució de prova, s'estaven executant els canvis nous i els fets anteriorment, és a dir, a cada una de les proves, implícitament, també es comprovava que no hi hagués cap error no detectat en les anteriors implementacions. D'aquesta manera, com que el desenvolupament ha sigut incremental, el correcte funcionament de l'última versió del programa principal amb diferents configuracions valida la implementació adoptada.

Arran d'aquest raonament, s'executa el programa principal *mainDelayPower* amb diferents configuracions, però sempre utilitzant el motor d'OptaPlanner, que és quan s'executa el flux modificat de CloudSim.

#### Test 1

No s'afegeixen recursos en temps d'execució i tots els recursos d'un mateix tipus comparteixen característiques.

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI      | RAM  | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|---------|------|----------------|---------|
| Host     | 10                | 0                           | 8000 | -       | 2048 | 10000          | 1000000 |
| VM       | 20                | 0                           | 4000 | -       | 1024 | 1000           | 10000   |
| Cloudlet | 50                | 0                           | -    | 3600000 | -    | -              | 300     |

Taula 20: Característiques dels elements del test 1 en la validació de la implementació.

Amb aquesta configuració s'obtenen els següents resultats associats a les màquines virtuals:

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED |
|-------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| 0     | [9]          | [0.0]          | [40.0]        | [[9, 29, 49]]      |
| 1     | [8]          | [0.0]          | [40.0]        | [[8, 28, 48]]      |
| 2     | [7]          | [0.0]          | [40.0]        | [[7, 27, 47]]      |
| 3     | [6]          | [0.0]          | [40.0]        | [[6, 26, 46]]      |
| 4     | [5]          | [0.0]          | [40.0]        | [[5, 25, 45]]      |
| 5     | [4]          | [0.0]          | [40.0]        | [[4, 24, 44]]      |
| 6     | [3]          | [0.0]          | [40.0]        | [[3, 23, 43]]      |
| 7     | [2]          | [0.0]          | [40.0]        | [[2, 22, 42]]      |
| 8     | [1]          | [0.0]          | [40.0]        | [[1, 21, 41]]      |
| 9     | [0]          | [0.0]          | [40.0]        | [[0, 20, 40]]      |
| 10    | [9]          | [0.0]          | [40.0]        | [[19, 39]]         |
| 11    | [8]          | [0.0]          | [40.0]        | [[18, 38]]         |
| 12    | [7]          | [0.0]          | [40.0]        | [[17, 37]]         |
| 13    | [6]          | [0.0]          | [40.0]        | [[16, 36]]         |
| 14    | [5]          | [0.0]          | [40.0]        | [[15, 35]]         |
| 15    | [4]          | [0.0]          | [40.0]        | [[14, 34]]         |
| 16    | [3]          | [0.0]          | [40.0]        | [[13, 33]]         |
| 17    | [2]          | [0.0]          | [40.0]        | [[12, 32]]         |
| 18    | [1]          | [0.0]          | [40.0]        | [[11, 31]]         |
| 19    | [0]          | [0.0]          | [40.0]        | [[10, 30]]         |

Taula 21: Resultats del test 1 en la validació de la implementació.

S'observa que totes les màquines virtuals han estat creades correctament i consumeixen la mateixa energia. Com que la càrrega de treball que ocasionen tots els cloudlets és la mateixa, la solució intentarà fer un repartiment equitatiu d'aquests. Al tenir 50 tasques i 20 màquines virtuals, hi hauran algunes màquines virtuals que executaran més processos que la resta, concretament 10. A més, es pot veure que a cada host se li ha assignat dues màquines virtuals diferents, s'ha pogut fer un repartiment equitatiu en termes d'assignació de màquines virtuals a hosts.

## Test 2

S'afegeixen nous recursos en temps d'execució i tots els elements d'un mateix tipus comparteixen característiques. S'usa el *CustomScoreCalculator* per calcular la puntuació, amb un número màxim de hosts utilitzats permesos establerts a 8.

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI   | RAM  | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------|
| Host     | 10                | 0                           | 8000 | -    | 2048 | 10000          | 1000000 |
| VM       | 20                | 15                          | 4000 | -    | 1024 | 1000           | 10000   |
| Cloudlet | 50                | 60                          | -    | 4000 | -    | -              | 300     |

Taula 22: Característiques dels elements del test 2 en la validació de la implementació

I obtenim els següents resultats corresponents als hosts. Cal fer un incís per interpretar els resultats on s'incorporen al sistema nous recursos en temps d'execució. En aquest cas, s'han afegit màquines virtuals i cloudlets en tres tandes diferents, això significa que existiran quatre intervals diferents de temps, l'inicial i les tres interrupcions. Cadascun d'aquests intervals ocupa

una posició al vector resultat, mostrant la ocupació temporal en aquell interval, mentre que al final del vector s'explicita la capacitat total.

| HOST ID | MIPS                          | RAM                           | BW                             | STORAGE                              | POWER                        |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 0       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 1       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 2       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 3       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 4       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 5       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 6       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 7       | [8000, 8000, 8000, 8000]/8000 | [2048, 2048, 2048, 2048]/2048 | [2000, 2000, 2000, 2000]/10000 | [20000, 20000, 20000, 20000]/1000000 | [100.0, 100.0, 100.0, 100.0] |
| 8       | [0, 0, 0, 0]/8000             | [0, 0, 0, 0]/2048             | [0, 0, 0, 0]/10000             | [0, 0, 0, 0]/1000000                 | [0.0, 0.0, 0.0, 0.0]         |
| 9       | [0, 0, 0, 0]/8000             | [0, 0, 0, 0]/2048             | [0, 0, 0, 0]/10000             | [0, 0, 0, 0]/1000000                 | [0.0, 0.0, 0.0, 0.0]         |

Taula 23: Resultats de la prova 2 en la validació de la implementació

D'aquesta informació podem extreure que en cadascun dels intervals s'ha respectat la decisió de l'usuari d'utilitzar com a màxim 8 hosts, ja que s'havien creat 10 i 2 d'ells s'han ignorat, consumint energia nul·la. Quatre màquines virtuals no s'han creat per acomplir les restriccions imposades, segons es pot extreure de la informació completa del resultat de la simulació.

#### 9.4. Experiment 1: Heurística per defecte

A l'experiment 1 es pretén comparar el comportament per defecte que té CloudSim per allotjar les màquines virtuals als hosts amb la solució proposada pel projecte. L'algorisme base que utilitza és assignar la màquina virtual que s'està intentant allotjar al host amb major nombre de MIPS disponibles, mentre que l'heurística amb la que la comparem té coneixement del conjunt sencer de màquines virtuals a allotjar, assigna primer les més grans i intenta maximitzar l'utilització dels recursos disponibles.

#### Disseny de l'experiment

Es creen dos tipus diferents de màquina virtual, i s'introdueixen 10 de cadascuna al sistema. La diferència que tindran és la capacitat de processament en MIPS.

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI   | RAM  | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------|
| Host     | 10                | 0                           | 8000 | -    | 2048 | 10000          | 1000000 |
| VM       | 10                | 0                           | 2000 | -    | 1024 | 1000           | 10000   |
| VM       | 10                | 0                           | 8000 | -    | 1024 | 1000           | 10000   |
| Cloudlet | 50                | 0                           | -    | 4000 | -    | -              | 300     |

Taula 24: Característiques dels elements de l'experiment 1

#### Resultats esperats

Les màquines virtuals en el cas base s'allotgen individualment per ordre d'arribada. Arriben primer les màquines més petites i se'ls designarà un host amb més MIPS disponibles. En arribar

les màquines virtuals amb més capacitat, no es podran allotjar ja que no existeixen suficients recursos disponibles.

En el cas d'OptaPlanner, es passa el conjunt de màquines virtuals sencer, i aprofitarà tot lo possible la capacitat dels hosts.

## Resultats

Per part de CloudSim, s'obtenen els següents resultats corresponents a les màquines virtuals:

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED    |
|-------|--------------|----------------|---------------|-----------------------|
| 0     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[0, 10, 20, 30, 40]] |
| 1     | [1]          | [0.0]          | [20.0]        | [[1, 11, 21, 31, 41]] |
| 2     | [2]          | [0.0]          | [20.0]        | [[2, 12, 22, 32, 42]] |
| 3     | [3]          | [0.0]          | [20.0]        | [[3, 13, 23, 33, 43]] |
| 4     | [4]          | [0.0]          | [20.0]        | [[4, 14, 24, 34, 44]] |
| 5     | [5]          | [0.0]          | [20.0]        | [[5, 15, 25, 35, 45]] |
| 6     | [6]          | [0.0]          | [20.0]        | [[6, 16, 26, 36, 46]] |
| 7     | [7]          | [0.0]          | [20.0]        | [[7, 17, 27, 37, 47]] |
| 8     | [8]          | [0.0]          | [20.0]        | [[8, 18, 28, 38, 48]] |
| 9     | [9]          | [0.0]          | [20.0]        | [[9, 19, 29, 39, 49]] |

Taula 25: Resultats de l'experiment 1 amb el motor CloudSim

Només ha sigut possible allotjar les 10 primeres màquines en arribar, i no s'ha pogut aprofitar al màxim la capacitat dels hosts.

Per altra banda, aquesta ha sigut la execució amb OptaPlanner:

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED    |
|-------|--------------|----------------|---------------|-----------------------|
| 0     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[0, 20, 40]]         |
| 1     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[19, 39]]            |
| 10    | [9]          | [0.0]          | [80.0]        | [[9, 18, 29, 38, 49]] |
| 11    | [8]          | [0.0]          | [80.0]        | [[8, 17, 28, 37, 48]] |
| 12    | [7]          | [0.0]          | [80.0]        | [[7, 16, 27, 36, 47]] |
| 13    | [6]          | [0.0]          | [80.0]        | [[6, 15, 26, 35, 46]] |
| 14    | [5]          | [0.0]          | [80.0]        | [[5, 14, 25, 34, 45]] |
| 15    | [4]          | [0.0]          | [80.0]        | [[4, 13, 24, 33, 44]] |
| 16    | [3]          | [0.0]          | [80.0]        | [[3, 12, 23, 32, 43]] |
| 17    | [2]          | [0.0]          | [80.0]        | [[2, 11, 22, 31, 42]] |
| 18    | [1]          | [0.0]          | [80.0]        | [[1, 10, 21, 30, 41]] |

Taula 26: Resultats de l'experiment 1 amb el motor OptaPlanner

En aquest cas, el *Solver* ha sigut capaç de trobar una solució que aprofités millor els hosts disponibles. Les màquines virtuals més grans s'han creat amb prioritat, tot i que hi han un parell de petites que ocupen el host 0.

Amb els resultats, també és perceptible que els cloudlets prefereixen executar-se en les màquines



amb més capacitat de processament, i trigaran menys en executar-se el conjunt de tasques amb la distribució feta per OptaPlanner.

## Conclusió

OptaPlanner optimitza millor els recursos disponibles, tot i que necessita de més temps per obtenir una solució donats una sèrie de recursos a assignar. El temps per trobar la solució està establert per part de l'usuari al fitxer de configuració, i com s'ha esmentat abans, és de 15 i 5 segons pel domini 1 i 2 respectivament, mentre que CloudSim fa una assignació immediata.

## 9.5. Experiment 2: First Fit

Per dur a terme aquest experiment, s'ha modificat una línia de codi de l'algorisme base de CloudSim, comentat a l'apartat anterior, amb la finalitat de convertir la rutina en l'algorisme First Fit. En igualtat d'algorismes, es pretén comparar la execució d'ambdós motors.

### Disseny de l'experiment

Es creen dos tipus diferents de hosts i dos tipus diferents de màquines virtuals. Alguns hosts tenen més capacitat de processament que d'altres, el mateix passa amb les VM.

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI   | RAM  | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------|
| Host     | 8                 | 0                           | 8000 | -    | 2048 | 10000          | 1000000 |
| Host     | 2                 | 0                           | 2000 | -    | 2048 | 10000          | 1000000 |
| VM       | 10                | 0                           | 2000 | -    | 1024 | 1000           | 10000   |
| VM       | 10                | 0                           | 6000 | -    | 1024 | 1000           | 10000   |
| Cloudlet | 50                | 0                           | -    | 4000 | -    | -              | 300     |

Taula 27: Característiques dels elements de l'experiment 2

### Resultats esperats

S'espera que les màquines virtuals més petites comencin a ocupar els hosts més grans. D'aquesta manera, quan arribin les màquines més grans, no tindran espai suficient per allotjar-se i es perdrà capacitat de processament.

En canvi, amb OptaPlanner, al disposar de coneixement del conjunt sencer de les màquines virtuals a allotjar, es preveu que s'aprofitarà millor la capacitat de processament total dels hosts.

## Resultats

Els resultats obtinguts amb CloudSim són:

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED |
|-------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| 0     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[0, 13, 26, 39]]  |
| 1     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[1, 14, 27, 40]]  |
| 2     | [1]          | [0.0]          | [20.0]        | [[2, 15, 28, 41]]  |
| 3     | [1]          | [0.0]          | [20.0]        | [[3, 16, 29, 42]]  |
| 4     | [2]          | [0.0]          | [20.0]        | [[4, 17, 30, 43]]  |
| 5     | [2]          | [0.0]          | [20.0]        | [[5, 18, 31, 44]]  |
| 6     | [3]          | [0.0]          | [20.0]        | [[6, 19, 32, 45]]  |
| 7     | [3]          | [0.0]          | [20.0]        | [[7, 20, 33, 46]]  |
| 8     | [4]          | [0.0]          | [20.0]        | [[8, 21, 34, 47]]  |
| 9     | [4]          | [0.0]          | [20.0]        | [[9, 22, 35, 48]]  |
| 10    | [5]          | [0.0]          | [20.0]        | [[10, 23, 36, 49]] |
| 11    | [6]          | [0.0]          | [60.0]        | [[11, 24, 37]]     |
| 12    | [7]          | [0.0]          | [60.0]        | [[12, 25, 38]]     |

Taula 28: Resultats de l'experiment 2 amb el motor CloudSim

CloudSim ha sigut capaç d'allotjar 13 de les 20 màquines virtuals que hi havien al sistema.

Amb OptaPlanner, obtenim les següents mètriques:

| VM ID | HOST HISTORY | HOST INTERVALS | POWER HISTORY | CLOUDLETS EXECUTED |
|-------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| 0     | [0]          | [0.0]          | [20.0]        | [[13, 31, 49]]     |
| 1     | [1]          | [0.0]          | [20.0]        | [[12, 30, 48]]     |
| 2     | [2]          | [0.0]          | [20.0]        | [[11, 29, 47]]     |
| 3     | [3]          | [0.0]          | [20.0]        | [[10, 28, 46]]     |
| 4     | [4]          | [0.0]          | [20.0]        | [[9, 27, 45]]      |
| 5     | [5]          | [0.0]          | [20.0]        | [[8, 26, 44]]      |
| 6     | [6]          | [0.0]          | [20.0]        | [[7, 25, 43]]      |
| 7     | [7]          | [0.0]          | [20.0]        | [[6, 24, 42]]      |
| 8     | [8]          | [0.0]          | [80.0]        | [[5, 23, 41]]      |
| 9     | [9]          | [0.0]          | [80.0]        | [[4, 22, 40]]      |
| 10    | [0]          | [0.0]          | [60.0]        | [[3, 21, 39]]      |
| 11    | [1]          | [0.0]          | [60.0]        | [[2, 20, 38]]      |
| 12    | [2]          | [0.0]          | [60.0]        | [[1, 19, 37]]      |
| 13    | [3]          | [0.0]          | [60.0]        | [[0, 18, 36]]      |
| 14    | [4]          | [0.0]          | [60.0]        | [[17, 35]]         |
| 15    | [5]          | [0.0]          | [60.0]        | [[16, 34]]         |
| 16    | [6]          | [0.0]          | [60.0]        | [[15, 33]]         |
| 17    | [7]          | [0.0]          | [60.0]        | [[14, 32]]         |

Taula 29: Resultats de l'experiment 2 amb el motor OptaPlanner

En aquest cas, hem pogut allotjar més màquines, concretament 18 de les 20 disponibles. Tal i com s'esperava, al cas de CloudSim les màquines virtuals amb menys capacitat, que van de la 0 a la 9, han estat allotjades totes en ordre d'arribada al primer host compatible que trobaven,

de manera que només han deixat espai suficient per crear 3 grans. Per altra banda, com OptaPlanner sap en tot moment totes les màquines virtuals que ha d'allotjar, dona prioritat a les més grans, de tal forma que les distribueix per poder allotjar posteriorment les petites si queda capacitat suficient. Al tenir més màquines virtuals, s'han distribuït millor els processos i han acabat l'execució més ràpidament.

## Conclusió

Amb els resultats obtinguts es pot dir que OptaPlanner torna a gestionar millor els recursos dels quals disposa.

### 9.6. Experiment 3: Comparació d'heurístiques

L'objectiu ara és comparar el resultat sobre el mateix conjunt d'elements, que s'obté utilitzant sempre el motor OptaPlanner amb diferents heurístiques, tant constructives a la primera fase com meta-heurístiques en la segona.

#### Disseny de l'experiment

Als experiments anteriors, s'ha treballat amb una mida de problema petit. A causa d'això, totes les heurístiques d'OptaPlanner arriben a una solució idèntica o molt similar, ja que tenen temps de sobra per optimitzar el problema. Ara, per poder comparar millor els resultats, s'incrementa la mida del problema fins a 300 hosts i 1000 màquines virtuals. Això implica un problema amb un espai de cerca de  $300^{1000}$  elements. També s'incrementa el temps de càlcul a 45 segons. Amb aquest disseny, és impossible que s'aconsegueixin allotjar totes les màquines virtuals, ja que el total excedeix la capacitat disponible, però existeixen solucions on es poden aprofitar els recursos de tots els hosts. El resum d'elements utilitzats és el següent:

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI   | RAM   | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|------|-------|----------------|---------|
| Host     | 300               | 0                           | 8000 |      | 20480 | 10000          | 1000000 |
| VM       | 500               | 0                           | 2000 | -    | 1024  | 1000           | 10000   |
| VM       | 500               | 0                           | 6000 | -    | 1024  | 1000           | 10000   |
| Cloudlet | 600               | 0                           | -    | 4000 | -     | -              | 300     |

Taula 30: Característiques dels elements de l'experiment 3

#### Resultats esperats

Les heurístiques constructives que es recolzin en la mida de l'element per allotjar-lo es preveu que tindran un rendiment superior. És a dir, les heurístiques que allotgin primer les màquines virtuals més grans oferiran una solució millor. S'identifiquen per que contenen la paraula *DECREASING* al seu nom.

## Resultats

Es resumeix en una taula la capacitat de processament que s'ha pogut allotjar sobre un total de 2400000 MIPS. Les files indiquen l'heurística constructiva utilitzada a la primera fase, mentre que les columnes fan referència a la meta-heurística empleada a la segona fase:

| Heurística               | Tabu Search | Hill Climbing | Late Acceptance |
|--------------------------|-------------|---------------|-----------------|
| First Fit                | 2584000     | 3040000       | 2602000         |
| First Fit Decreasing     | 3520000     | 3528000       | 3538000         |
| Weakest Fit              | 2656000     | 2710000       | 2656000         |
| Weakest Fit Decreasing   | 3468000     | 3546000       | 3574000         |
| Strongest Fit            | 2524000     | 2542000       | 2554000         |
| Strongest Fit Decreasing | 3538000     | 3552000       | 3532000         |
| Cheapest Insertion       | 6000        | 12000         | 12000           |
| Regret Insertion         | 12000       | 12000         | 12000           |

Taula 31: Resultats de l'experiment 3

## Conclusió

A partir dels resultats, es confirma el que es postula a l'apartat de resultats esperats. Les heurístiques constructives que tenen en compte la mida de l'element a allotjar obtenen un resultat notablement millor. A més, les constructives utilitzades determinen en major mesura que les meta-heurístiques la major quantitat de recursos allotjats, de tal forma que la solució depèn més de la heurística constructiva en aquest cas. Per altra banda, tant *Cheapest Insertion* com *Regret Insertion* ofereixen un resultat molt inferior a la resta d'algorismes.

### 9.7. Experiment 4: Power-aware

Una mètrica important en un entorn de computació al núvol és el consum d'energia que el sistema necessita per funcionar i executar tots els seus components. Per procedir a realitzar l'experiment, s'utilitza un nou model de potència, que descriu i implementa algorismes i heurístiques [13][14]. Es compararan els resultats d'energia obtinguts utilitzant la implementació descrita a l'article i l'obtinguda emprant el motor d'OptaPlanner.

### Disseny de l'experiment

S'ha dissenyat un conjunt d'elements gran, on és possible allotjar tots els elements sense sobrepassar la capacitat de processament total. S'utilitza el *CustomScoreCalculator* per configurar les restriccions quan s'executi amb el motor d'OptaPlanner:

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI      | RAM  | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|---------|------|----------------|---------|
| Host     | 100               | 0                           | 2000 |         | 2000 | 1000000        | 1000000 |
| VM       | 200               | 0                           | 1000 | -       | 1000 | 100000         | 2500    |
| Cloudlet | 200               | 0                           | -    | 2500000 | -    | -              | 300     |

Taula 32: Característiques dels elements de l'experiment 4

### Resultats esperats

No es pot predir quina metodologia portarà millors resultats en quant al consum d'energia, però amb la correcta parametrització del fitxer de configuració adjacent al *CustomScoreCalculator* hauria de ser possible reduir el consum global del sistema.

### Resultats

En ambdós casos, ha sigut possible allotjar totes les màquines virtuals als hosts disponibles.

Executant la simulació amb diversos paràmetres i algorismes implementats i explicats a l'article citat, s'obté el mateix valor de potència consumida pel sistema. En total **6.25 kWh**.

En canvi, quan executem la simulació amb la nova integració, obtenim les dades de la Taula 33, on la columna indica el número màxim de hosts que es permeten utilitzar, segons s'ha establert al fitxer de configuració *CustomScoreConfig*:

| Límit de hosts    | Sense límit | 90       | 80    | 70       |
|-------------------|-------------|----------|-------|----------|
| Energia consumida | 7,5 kWh     | 6,75 kWh | 6 kWh | 5,25 kWh |

Taula 33: Resultats de l'experiment 4

Al cas dels resultats obtinguts amb les implementacions de l'article, els algorismes que empra intenten no sobrecarregar els hosts, és a dir, els mantenen sempre sota cert nivell de càrrega, aproximat al 80% de la capacitat de processament. És per això que si no impossem cap límit en la solució plantejada, obtenim una pitjor lectura de potència consumida.

### Conclusió

La implementació descrita a l'article citat tracta millor el consum d'energia que la obtinguda amb la implementació d'OptaPlanner en CloudSim.

Segons ajustem el número màxim de hosts en el model que descriu aquest projecte, el consum d'energia es veu reduït. Això és degut a que els hosts entren en *sleep mode* i no consumeixen energia. Aquest fet implica que el temps que trigaran les tasques a executar-se serà major, afectant de forma negativa al rendiment del sistema.

## 9.8. Experiment 5: Mesura de l'impacte de diferents configuracions de la puntuació

L'experiment consta en simular un centre de dades, sempre amb la mateixos elements i utilitzant diferents *ScoreCalculators* per calcular la puntuació de la solució. La finalitat és comparar-los i decidir si assoleixen l'objectiu comentat prèviament a la Taula 18, com per exemple poden ser optimitzar el rendiment del sistema o reduir el consum energètic.

### Disseny de l'experiment

Per a totes les proves el conjunt d'elements serà el mateix. És un espai de cerca de mida mitjana, exactament de  $10^{20}$  combinacions en primera instància. Té la característica de que s'incorporen 40 noves màquines virtuals en temps d'execució, augmentant la mida del problema a  $10^{60}$  possibilitats. L'entrada de l'experiment es defineix com:

| Element  | Quantitat inicial | Afegits en temps d'execució | MIPS | MI   | RAM    | Ample de banda | Mida    |
|----------|-------------------|-----------------------------|------|------|--------|----------------|---------|
| Host     | 10                | 0                           | 8000 | -    | 2048*8 | 1000000        | 1000000 |
| VM       | 10                | 0                           | 2000 | -    | 1024   | 100000         | 2500    |
| VM       | 10                | 0                           | 7000 | -    | 1024   | 100000         | 2500    |
| VM       | 0                 | 40                          | 2000 | -    | 1024   | 100000         | 2500    |
| Cloudlet | 600               | 0                           | -    | 4000 | -      | -              | 300     |

Taula 34: Característiques dels elements de l'experiment 5

### Resultats esperats

La previsió és obtenir resultats que s'ajustin a l'objectiu especificat a la Taula 18.

### Resultats

Als resultats extrets, es mostren diferents mesures com la capacitat de processament assolida entre totes les màquines virtuals, sobre el total de 80000 MIPS que proporcionen el conjunt de hosts. Com que s'afegeixen recursos al sistema en temps d'execució, el resultat és un vector de dos posicions. La primera posició indica l'estat inicial, i la segona fa referència al moment quan ja s'han afegit tots els recursos especificats al disseny de l'experiment.

| ScoreCalculator | Centre de dades (processament total) | Hosts en execució | Màquines virtuals creades | Potència       |
|-----------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|
| Simple          | [20000, 74000]                       | [10, 10]          | [10, 21]                  | [400.0, 940.0] |
| Binary          | [71000, 71000]                       | [10, 10]          | [13, 13]                  | [910.0, 910.0] |
| MinPow          | [8000, 8000]                         | [1, 1]            | [4, 4]                    | [100.0, 100.0] |
| MinLost         | [71000, 72000]                       | [10, 10]          | [13, 16]                  | [910.0, 920.0] |

Taula 35: Resultats de l'experiment 5

Els resultats obtinguts en cada execució són molt diversos. Es comentarà cada cas per separat i per ordre.

En el cas *Simple*, sempre intentarà utilitzar el màxim número de recursos possible, per això quan entren més màquines virtuals augmenta la capacitat de processament. La seva finalitat és abaixar el cost, per això triarà la solució amb menys cost entre les que usen el màxim nombre de recursos possible.

En segon lloc, la configuració *Binary* intentarà tenir una millor distribució i utilitzar el major nombre de hosts possibles, sempre sense passar-se del seu límit. No optimitza del tot els recursos disponibles, de manera que no arriba a aprofitar tota la capacitat del sistema, però entre les solucions que no sobrepassen els límits, agafa la que empra més hosts per equiparar el treball.

El càlcul de la puntuació mitjançant *MinPow* té com a principal objectiu, com el seu propi nom indica, reduir el consum de potència. Això l'aconsegueix deixant en *sleep mode* una gran quantitat de hosts, reduint el seu consum d'energia a 0. Com s'observa a la solució, només aprofita la potència d'un host per allotjar quatre màquines virtuals diferents, consumint un total de 100 W, notablement inferior a la resta de solucions.

Per últim, la solució plantejada pel mètode *MinLost* procura trobar una solució on s'aprofitin més els recursos proveïts pels hosts dintre del conjunt de les que no excedeixen el límit. Quan es detecta que arriben noves màquines virtuals al sistema, dona peu a noves solucions i configuracions per millorar la disposició prèvia, i així ho fa. Utilitza màquines virtuals més petites per arribar al màxim de processament per host, tot i que no assoleix una solució òptima.

A més, també s'adjunten els resultats utilitzant el *CustomScoreCalculator* amb diferents configuracions:

| Paràmetre                                    | Valor | Centre de dades (processament total) | Hosts en execució | Màquines virtuals creades | Potència       |
|--|-------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|
| Màxima potència                              | 700   | [46000, 48000]                       | [10, 10]          | [13, 14]                  | [660.0, 680.0] |
| Màxim nombre de hosts                        | 8     | [57000, 57000]                       | [8, 8]            | [11, 11]                  | [730.0, 730.0] |
| Màxim percentatge d'ocupació de CPU per host | 50    | [20000, 26000]                       | [10, 10]          | [10, 13]                  | [400.0, 460.0] |

Taula 36: Resultats de l'experiment 5 calculat amb el *CustomScoreCalculator*

Quan l'usuari decideix utilitzar el *CustomScoreCalculator*, l'objectiu l'imposa ell mateix. Pot personalitzar al seu gust quines restriccions vol fer servir, i segons aquestes limitacions, obtindrà un resultat o un altre.

En la primera execució, es limita la utilització de la potència a 700 W. Tenint això en coneixement, el motor d'OptaPlanner treballa per cercar solucions que ho aconsegueixen, intentant aproximar-se al màxim per tenir el major rendiment possible. Així deixa constància l'execució, que en cap moment supera la potència especificada.

En el cas de reduir el nombre màxim de hosts a utilitzar, el *Solver* s'esforçarà en trobar una solució per cenyir-se al límit. Una conseqüència d'aquesta imposició és que també es redueix el consum energètic.

També existeix la possibilitat d'establir el màxim percentatge d'utilització de la capacitat de processament de cada host, per no sobrecarregar de treball les màquines físiques. En aquest cas, quan s'indica que els hosts poden fer servir un màxim del 50% del seu poder de computació, OptaPlanner s'encarregarà de trobar una solució que ho respecti.

## **Conclusió**

Les diferents implementacions per calcular la puntuació aconsegueixen el seu objectiu, tot i que unes millors que les altres i sense optimitzar al màxim la solució. Això pot ser degut a que la solució parteix d'una inicialització feta a partir de la heurística constructiva. Si aquesta no troba una solució mitjanament bona d'inici, la meta-heurística ho tindrà complicat per arribar a fer un treball ideal.



## 10. Sostenibilitat i compromís social

### 10.1. Autoavaluació sobre la competència de sostenibilitat

En termes de sostenibilitat, coneixia de l'existència d'aquest concepte en els diferents àmbits, econòmic, ambiental i social, encara que no tenia els coneixements suficients per dur a terme un anàlisi apropiat. És cert que al llarg del grau moltes assignatures han fet èmfasi en aquesta temàtica, sobretot en la part de la competència transversal i amb contingut addicional, com pot ser un documental sobre la vida dels aparells electrònics. Per tant soc conscient de l'impacte que tenen els productes TIC<sup>15</sup> directament i indirectament sobre les nostres vides, coneixia els conceptes de justícia social, reutilització de recursos i economia social, i soc capaç de valorar si un producte té un impacte positiu o negatiu respecte al planeta, tot i que no sabia quins indicadors mesuren els seus efectes al medi ambient. Per altra banda, també havia llegit sobre els conceptes d'accessibilitat, ergonomia i seguretat en les solucions tecnològiques, però no suficientment per tenir-los en compte a l'hora de desenvolupar un projecte, el mateix passa amb la equitat, diversitat i transparència. Fins a aquest moment tampoc he tingut mai la possibilitat de participar en cap projecte professional que afecti a la societat, així que no he tingut la oportunitat de marcar la meua empremta sobre aquesta, però aquest Treball Final de Grau és el que més s'apropa a contribuir, de tal forma que intentaré maximitzar l'impacte positiu sobre la societat.

### 10.2. Estudi de la dimensió econòmica

El cost estimat de la realització del projecte ja s'ha analitzat prèviament a l'apartat 6, indicant quina part del pressupost va a parar a recursos humans, materials, a contingències o imprevistos, justificant cada apartat amb l'origen de les despeses i comparant-los amb el pressupost final resultant, que ha sigut de 18.756,26 €.

En l'actualitat, s'ha mostrat a l'estat de l'art que existeixen productes capaços d'estimar dades com el consum energètic o l'impacte d'un balanceig de càrrega en un centre de computació al núvol, però no proposen mètodes per reduir el consum o altre aspecte com és el cost econòmic. En la solució proposada, es presten eines per reduir el consum energètic d'un centre de dades, el que implica una reducció dels costos econòmics. Tenint en compte això, les empreses que disposin del seu propi núvol, o inclòs aquelles que es vulguin sumar a la digitalització de les dades i desenvolupar un de propi, es veuran beneficiades i podran reduir costos gràcies a la implantació de la tecnologia desenvolupada.

### 10.3. Estudi de la dimensió ambiental

El desenvolupament del projecte, com qualsevol altre acte que s'efectua, comporta un impacte al medi ambient. En primera instància, es vol quantificar com ha repercutit la realització del treball sobre el nostre entorn. Per fer-lo, s'estimarà el consum energètic dels aparells que han afectat directa o indirectament en el desenvolupament. Cal dir que inicialment s'havia fet una

---

<sup>15</sup>Tecnologies de la Informació i la Comunicació

estimació a la baixa, ja que alguns aspectes no s'havien valorat i que la prolongació del treball durant uns mesos extra ha afectat negativament. La Taula 37 mostra un resum del consum energètic dels recursos implicats:

| Recurs             | Consum per hora (kWh) |
|--------------------|-----------------------|
| Ordinador portàtil | 1                     |
| Llum habitació     | 0,06                  |
| Calefacció         | 4                     |
| <b>Total</b>       | <b>5,006</b>          |

Taula 37: Consum energètic dels recursos utilitzats

Realment, l'única part fonamental en la realització del projecte és el portàtil, així que és possible reduir el consum durant el desenvolupament a mínims.

Un dels objectius del treball ha sigut la integració de restriccions per aconseguir certes finalitats, sent una d'aquestes finalitats la reducció del consum energètic en centre de dades. Per entrar en situació, als Estats Units està previst que el consum energètic produït per tots els centres de dades del país arribi a 135 bilions de kWh [15]. Arran d'això, si s'apliquen aquestes restriccions als centres de computació, es pot obtenir un impacte molt positiu sobre el medi ambient, reduint substancialment el consum i la empremta ecològica sempre i quan s'apliquin les polítiques pertinents.

#### 10.4. Estudi de la dimensió social

A nivell personal, aquest projecte m'aporta la capacitat de veure que darrera d'una tecnologia com és el cloud computing s'amaguen els centres de dades on es processa tota la informació. Em dona consciència de que l'energia que consumeixen és immensa, afectant negativament a la salut del nostre planeta i repercutint a la salut de les persones degut a la contaminació.

Pel que fa a la societat, no millorarà la qualitat de vida de cap persona ni reduirà la desigualtat existent. Potser l'estalvi elèctric que comporta pot influir en que a llarg termini no s'hagin consumit tants recursos naturals, i indirectament, que la qualitat de vida de les persones no sigui tan dolenta com s'espera.

És necessària l'existència d'una eina com aquesta de cara a les petites i mitjanes empreses. Les aproparà a oferir un millor servei i reduirà la bretxa amb les corporacions amb recursos econòmics molt superiors ja que podran accedir a la tecnologia de la computació al núvol a cost més baix. Un efecte d'això és que els usuaris disposaran de millors serveis i més variats.

## 11. Conclusions

El principal objectiu marcat per a la realització d'aquest projecte era, tal i com el propi nom indica, la integració d'OptaPlanner en CloudSim. Després d'un anàlisi de CloudSim i interpretar la seva estructura i funcionament, ha sigut possible implementar els canvis necessaris, fent de la integració un èxit. Totes les heurístiques i funcionalitats principals d'OptaPlanner han sigut provades durant el projecte satisfactòriament.

El fet de combinar aquestes dues tecnologies proporciona més possibilitats a l'usuari. Si bé CloudSim era una eina reconeguda per dur a terme virtualitzacions d'un entorn al núvol, el fet de poder fer simulacions seguint una sèrie de restriccions, obligant a la solució final a satisfer-les per aconseguir una finalitat concreta, aporta un valor extra al *software*. Amb aquesta nova porta oberta, l'usuari serà capaç de realitzar infinites proves abans de desplegar el seu núvol al món real. Tindrà la possibilitat de configurar diferents entorns i obtenir una relació entre màquines físiques i virtuals adaptada a la seva finalitat, com pot ser augmentar el rendiment del sistema o reduir el consum.

El treball no només s'ha centrat en la integració. També s'han desenvolupat noves funcionalitats per donar a l'usuari un millor control sobre el programa. Entre les més destacables es situa la preservació de l'estat de les tasques quan s'efectua una migració, però sobretot la característica implementada més important és l'afegiment de nous recursos en temps d'execució. Això dona peu al client a que experimenti amb entorns més complexos i dinàmics, ajustant-lo encara més a la realitat del cloud computing, on s'estan creant i destruint màquines virtuals contínuament a demanda en ordre de poder suplir la capacitat de processament necessària per executar els processos llençats, que arriben d'una manera ininterrompuda.

En quant a l'assoliment dels objectius, es pot dir que el resultat ha sigut positiu. Com s'ha esmentat al principi, s'ha pogut experimentar amb les heurístiques que implementa OptaPlanner dins del propi CloudSim i determinar quines d'elles reporten una millor solució, combinant-les amb les restriccions i polítiques de balanceig implementades. Addicionalment, s'ha fet un estudi sobre quines polítiques emprar segons la finalitat que es vol aconseguir i s'han comparat amb les que ja estaven incloses a CloudSim, mostrant un resultat superior les primeres.

## 12. Treball futur

Tot i considerar que el producte obtingut ha complert els objectius proposats, encara hi ha aspectes que han quedat pendents i altres a millorar:

- Interfície gràfica d'usuari: en primera instància, l'objectiu era desenvolupar-la durant el projecte, però per manca de temps no ha sigut possible. La implementació resultaria una gran millora, comportaria a l'usuari una major facilitat per configurar tot l'entorn i per visualitzar els resultats, tenint una millor llegibilitat.
- Anàlisi més profund de les heurístiques: és un tema que es podria estendre a la realització d'un nou treball sencer. OptaPlanner dona la possibilitat de configurar paràmetres com el temps durant el qual s'executen les heurístiques. A més, segons quin algorisme s'utilitzi, es poden afegir paràmetres per personalitzar-lo. Fent un estudi d'això, existeixen moltes combinacions per poder arribar a una millor solució que les obtingudes.
- Ajustar-lo més a la realitat: en un entorn real, no tot funciona sempre com s'espera. Als centres de dades poden ocasionar-se problemes, deixant fora de línia hosts, o la impossibilitat de crear màquines virtuals degut a algun error. Una millora possible seria introduir errors sobtats a la simulació i implementar metodologies per poder recuperar-se automàticament sense afectar en gran mesura al sistema.

## Referències

- [1] Transparències del curs de Sistemes Distribuïts en Xarxa de la FIB (Facultat d'Informàtica de Barcelona), [En línia]. Disponible a: <https://racofib.upc.edu>. [Últim accés: juny de 2018].
- [2] Amazon Web Services Elastic Compute Cloud, [En línia]. Disponible a: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>. [Últim accés: setembre de 2018].
- [3] Microsoft Azure. [En línia]. Disponible a: <https://azure.microsoft.com/es-es/>. [Últim accés: setembre de 2018].
- [4] Google Docs. [En línia]. Disponible a: <https://www.google.com/intl/en-GB/docs/about/>. [Últim accés: setembre de 2018].
- [5] CloudSim, [En línia]. Disponible a: <http://www.cloudbus.org/cloudsim/>. [Últim accés: abril de 2019].
- [6] OptaPlanner, [En línia]. Disponible a: <https://www.optaplanner.org/>. [Últim accés: abril de 2019].
- [7] Apache Software License 2.0, [En línia]. Disponible a: <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0.html>. [Últim accés: abril de 2019].
- [8] Bhathiya Wickremasinghe (2009). CloudAnalyst: A CloudSim-based Tool for Modelling and Analysis of Large Scale Cloud Computing Environments, [En línia]. Disponible a: [http://www.cloudbus.org/students/MEDC\\_Project\\_Report\\_Bhathiya\\_318282.pdf](http://www.cloudbus.org/students/MEDC_Project_Report_Bhathiya_318282.pdf). [Últim accés: octubre de 2018].
- [9] Dmitry Kliazovich, Pascal Bouvry i Samee Ullah Khan (2010). GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers, [En línia]. Disponible a: [http://sameekhan.org/pub/K\\_K\\_2010\\_SUPE.pdf](http://sameekhan.org/pub/K_K_2010_SUPE.pdf). [Últim accés: octubre de 2018].
- [10] Metodologia Agile, [En línia]. Disponible a: <https://www.bbva.com/es/metodologia-agile-la-revolucion-las-formas-trabajo/>. [Últim accés: octubre de 2018].
- [11] Guia salarial de l'empresa consultora Hays, [En línia]. Disponible a: <http://guiasalarial.hays.es/trabajador/home>. [Últim accés: octubre de 2018].
- [12] Heurístiques implementades per OptaPlanner, [En línia]. Disponible a: [https://docs.optaplanner.org/7.20.0.Final/optaplanner-docs/html\\_single/index.html#optimizationAlgorithmsOverview](https://docs.optaplanner.org/7.20.0.Final/optaplanner-docs/html_single/index.html#optimizationAlgorithmsOverview). [Últim accés: abril de 2019].
- [13] Anton Beloglazov, Rajkumar Buyya (2011). Optimal Online Deterministic Algorithms and Adaptive Heuristics for Energy and Performance Efficient Dynamic Consolidation of Virtual Machines in Cloud Data Centers, [En línia]. Disponible a: <https://beloglazov.info/papers/2012-optimal-algorithms-ccpe.pdf>. [Últim accés: abril de 2019].

- [14] Anton Beloglazov, Jemal Abawajy, Rajkumar Buyya (2011). Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for Cloud computing, [En línia]. Disponible a: <https://beloglazov.info/papers/2012-fgcs-vm-consolidation-heuristics.pdf>. [Últim accés: abril de 2019].
- [15] Arman Shehabi, Sarah J Smith, Eric Masanet, Jonathan Koomey (2018). Data center growth in the United States: decoupling the demand for services from electricity use, [En línia]. Disponible a: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaec9c/pdf>. [Últim accés: abril de 2019].

## **Annex**

### **A. Diagrames de Gantt**

Diagrama de Gantt inicial

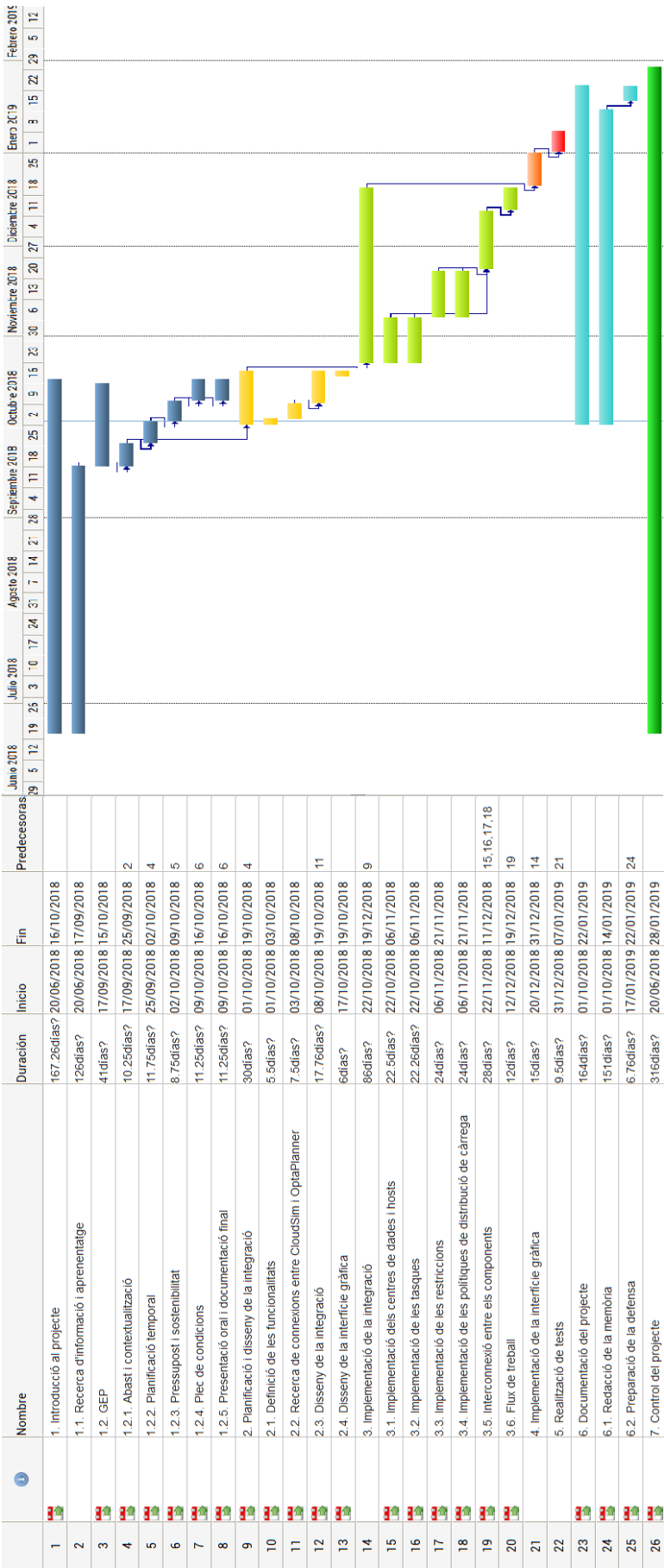




Diagrama de Gantt final

